

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ÇOKLU-BİYOMETRİK VERİLERLE GÖRÜNTÜ DAMGALAMA

AYSUN TUTAK ERÖZEN

**DOKTORA TEZİ
ELEKTRONİK VE HABERLEŞME MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM
DALI
ELEKTRONİK PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ NİHAN KAHRAMAN**

İSTANBUL, 2018

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇOKLU-BİYOMETRİK VERİLERLE GÖRÜNTÜ DAMGALAMA

Aysun TUTAK ERÖZEN tarafından hazırlanan tez çalışması 30.03.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Nihan KAHRAMAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Nihan KAHRAMAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Aydın AKAN
İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi

Prof. Dr. Tülay YILDIRIM
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Mürvet KIRCI
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Bülent BOLAT
Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Tez konumun belirlenmesinde, araştırma aşamasında ve tamamlanmasında destek olan değerli hocam, tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Nihan KAHRAMAN'a, verdikleri fikirler ile tezimin ilerleyişine katkıda bulunan Prof. Dr. Tülay YILDIRIM ve Prof. Dr. Aydın AKAN'a teşekkür ederim.

Doğduğum günden beri, her zaman sevgilerini ve desteklerini hissettiğim sevgili annem Neriman TUTAK'a, babam Refik TUTAK'a ve ablam Ayşe TUTAK'a her şey için teşekkür ederim.

Doktora çalışmalarım boyunca beni anlayışla karşılayan ve destekleyen eşim Serdar ERÖZEN'e, tez çalışmalarım sırasında dünyaya gelen oğlum Yusuf Asaf ERÖZEN'e, yakın zamanda ailemize katılacak olan ikinci bebeğimize, hayatıma kattığınız anlam ve mutluluk için teşekkür ederim.

Mart, 2018

Aysun TUTAK ERÖZEN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	x
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ 1	
1.1 Literatür Özeti.....	7
1.1.1 Damgalama Yöntemleri.....	7
1.1.2 Biyometrik Verilen Saklanma Yöntemleri	11
1.1.3 Damgalama İşleminin Optimizasyonu	13
1.1.4 Ridgelet Dönüşümüyle Damgalama.....	16
1.1.5 Contourlet Dönüşümüyle Damgalama	17
1.2 Tezin Amacı.....	19
1.3 Orijinal Katkı	19
BÖLÜM 2	
TEKİL DEĞER AYRIŞIMI İLE DAMGALAMA	21
2.1 Tekil Değer Ayrışımı	21
2.2 Tekil Değer Ayrışımı ile Damgalama.....	22
2.3 Üç Boyutlu (3B) Optimizasyon Çalışmaları.....	29
2.3.1 Üç Boyutlu Spiral Optimizasyon	30
2.3.2 Üç Boyutlu Parçacık Sürü Optimizasyonu	43
2.4 Polinomsal yaklaşıklık.....	51
2.4.1 Polinomsal yaklaşıklık ile modelleme konusunda yapılan çalışmalar	52
2.5 Optimizasyon ve Modelleme Çalışmalarının Değerlendirilmesi.....	62

BÖLÜM 3

SONLU RIDGELET DÖNÜŞÜMÜ İLE DAMGALAMA 63

3.1 Sonlu Ridgelet Dönüşümü 63

3.2 Sonlu Ridgelet Dönüşümü ile Damgalama..... 65

3.3 Kompleks Ridgelet Dönüşümü ile Damgalama..... 79

BÖLÜM 4

AYRIK CONTOURLET DÖNÜŞÜMÜ İLE DAMGALAMA..... 84

4.1 Ayrik Contourlet Dönüşümü 84

4.2 Ayrik Contourlet Dönüşümü ile Damgalama 86

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER..... 98

KAYNAKLAR..... 99

ÖZGEÇMİŞ..... 105

SİMGE LİSTESİ

a	Sonlu Ridgelet Dönüşümü ölçek parametresi
b	Sonlu Ridgelet Dönüşümü yer parametresi
c_1, c_2	PSO sabit katsayıları
d	Gürültü yoğunluğu
DG	Damgalanmış görüntü
g_{best}	Küresel en iyi nokta
GD	Geri elde edilen damga
İG	İlk damga görüntüsü
k	İterasyon sayısı
k_{max}	Maksimum iterasyon sayısı
m	Görüntüye ait dikey piksel sayısı
m	Spiral optimizasyon için spiral sayısı
m	Parçacık sürü optimizasyonu için nokta sayısı
n	Görüntüye ait yatay piksel sayısı
p_{best}	Noktanın en iyi değeri
r	Spiralin yarıçap katsayısı
TG	Taşıyıcı görüntü
α	Ölçek faktörü
α_R	Kırmızı kanal için ölçek faktörü
α_G	Yeşil kanal için ölçek faktörü
α_B	Mavi kanal için ölçek faktörü
Q	Görüntü kalitesi
θ	Spiralin dönüş açısı
X_i	i inci noktaya ait değerler
θ	Sonlu ridgelet dönüşümü açısı parametresi
$\psi_{a,b,\theta}(\cdot)$	Sonlu ridgelet dönüşüm fonksiyonu
$\psi_{a,b}(\cdot)$	Dalgacık dönüşümü fonksiyonu
X^*	Merkez nokta

KISALTMA LİSTESİ

1B	Bir boyutlu
2B	İki boyutlu
3B	Üç boyutlu
BER	Bit Hata Oranı
CC	Korelasyon Katsayısı
CFRIT	Kompleks Sonlu Ridgelet Dönüşümü
CRF	Sürekli Ridgelet Dönüşümü
CT	Contourlet Dönüşümü
CWT	Sürekli Dalgacık Dönüşümü
DC	Doğru Akım
DCT	Ayrık Kosinüs Dönüşümü
DFT	Ayrık Fourier Dönüşümü
DWT	Ayrık Dalgacık Dönüşümü
FAR	Yanlış Kabul Oranı
FRAT	Sonlu Radon Dönüşümü
FRIT	Sonlu Ridgelet Dönüşümü
FRR	Yanlış Reddetme Oranı
GMM	Gauss Karışım Modeli
IFRIT	Ters Sonlu Ridgelet Dönüşümü
JND	Sadece Fark Edilebilir Bozulma
JPEG	Birleşik Fotoğraf Uzmanları Grubu
LP	Laplas Piramidi
LSB	En Düşük Değerlikli Bit
MSE	Ortalama Kareler Hatası
NCC	Normalize Çapraz Korelasyon
PE	Öngörü Hatası
PSNR	Pik Sinyal Gürültü Oranı
PSO	Parçacık Sürü Optimizasyonu
RGB	Kırmızı Yeşil Mavi
SPO	Spiral Optimizasyon
SVD	Tekil Değer Ayrışımı
SVM	Destek Vektör Makinaları
VLSI	Çok Büyük Ölçekli Entegre

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1. 1	Algılanabilir damgalamaya (filigran) bir örnek 2
Şekil 1. 2	Algılanamaz damgalamaya bir örnek..... 2
Şekil 1. 3	Damgalama işlemi (Akter [2]) 3
Şekil 1. 4	Damgalanmış görüntünün taşıma sırasında saldırıya uğraması 3
Şekil 1. 5	Algılanabilir damgalamaya bir örnek..... 4
Şekil 1. 6	Damgalama işleminin sınıflandırılması 5
Şekil 2. 1	Taşıyıcı görüntünün sol üst köşesinde SVD ile yapılan damgalama 23
Şekil 2. 2	Taşıyıcı görüntüde meydana gelen bozulma..... 23
Şekil 2. 3	Tuz biber saldırısı sonrasında geri elde edilen damgalar 23
Şekil 2. 4	Taşıyıcı katsayısı değiştirilerek taşıyıcı resmin sol üst köşesinde SVD ile yapılan damgalama..... 24
Şekil 2. 5	Damga görüntülerinin taşıyıcı görüntünün farklı bölgelerine yerleştirilişi 25
Şekil 2. 6	PSNR ve α arasındaki ilişki 26
Şekil 2. 7	Tuz Biber gürültüsü ($d=0,002$) ve α arasındaki ilişki 26
Şekil 2. 8	Gauss gürültüsü (ortalama=0, varyans=0,01) ve α arasındaki ilişki 26
Şekil 2. 9	Döndürme (-1 derece) ve α arasındaki ilişki 27
Şekil 2. 10	Kırpma (her yönden 20 piksel) ve α arasındaki ilişki 27
Şekil 2. 11	Yeniden ölçeklendirme (512-256-512) ve α arasındaki ilişki..... 27
Şekil 2. 12	Yeniden ölçeklendirme (512-1024-512) ve α arasındaki ilişki..... 28
Şekil 2. 13	Jpeg sıkıştırma ($Q=90$) ve α arasındaki ilişki..... 28
Şekil 2. 14	Jpeg sıkıştırma($Q=75$) ve α arasındaki ilişki..... 28
Şekil 2. 15	Benek gürültüsü ($d=0,004$) ve α arasındaki ilişki 29
Şekil 2. 16	$r = 0,9$ ve $\theta = \frac{\Pi}{4}$ değerlerine sahip iki boyutlu spiral hareketi 30
Şekil 2. 17	$r = 0,9$ ve $\theta = \frac{\Pi}{4}$ değerlerine sahip üç boyutlu spiral hareketi 30
Şekil 2. 18	Farklı yoğunluktaki tuz biber gürültüsüne karşı gösterilen performans . 40
Şekil 2. 19	Farklı yoğunluktaki gauss gürültüsüne karşı gösterilen performans..... 40
Şekil 2. 20	Farklı derecelerdeki döndürmeye karşı gösterilen performans 41
Şekil 2. 21	Farklı seviyelerde yeniden ölçeklendirmeye karşı gösterilen performans 41
Şekil 2. 22	Farklı kalitelerde JPEG sıkıştırmaya karşı gösterilen performans 41
Şekil 3. 1	Sonlu ridgelet dönüşümü ile damgalama işlemi 66

Şekil 3. 2	Sonlu ridgelet dönüşümü ile damgalanmış görüntüden damganın geri elde edilişi	67
Şekil 3. 3	Lenna taşıyıcısı ile yapılan damgalama	73
Şekil 3. 4	Lenna taşıyıcısı ile R+B katlarına yapılan damgalama.....	73
Şekil 3. 5	Airplane taşıyıcısı ile yapılan damgalama	74
Şekil 3. 6	Baboon taşıyıcısı ile yapılan damgalama.....	74
Şekil 3. 7	Üç adet biyometrik veri içeren damgalanmış görüntü	79
Şekil 4. 1	Contourlet dönüşümü [59]	85
Şekil 4. 2	Yönlü Süzgeç Öbeği [59].....	86
Şekil 4. 3	Contourlet dönüşümüyle elde edilen damgalanmış görüntüler.....	92
Şekil 4. 4	Contourlet dönüşümüyle yarı kırılğan damgalama sonucunda elde edilen damgalanmış görüntüler.....	97



ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 1. 1 Steganografi ile kriptografinin karşılaştırılması [4]	7
Çizelge 2. 1 Birinci optimizasyon sonuçları (SPO)	34
Çizelge 2. 2 İkinci optimizasyon sonuçları (SPO)	35
Çizelge 2. 3 Üçüncü optimizasyon sonuçları (SPO)	36
Çizelge 2. 4 Dördüncü optimizasyon sonuçları (SPO).....	37
Çizelge 2. 5 Beşinci optimizasyon sonuçları (SPO).....	38
Çizelge 2. 6 Saldırıları sonrasında geri elde edilen damgalar	39
Çizelge 2. 7 Farklı bölgelerden ve farklı miktarlarda yapılan kesme işlemine karşı gösterilen performans	42
Çizelge 2. 8 Spiral optimizasyon sonucunda bulunan ölçek faktörleri	43
Çizelge 2. 9 Birinci optimizasyon sonuçları (PSO)	46
Çizelge 2. 10 İkinci optimizasyon sonuçları (PSO)	47
Çizelge 2. 11 Üçüncü optimizasyon sonuçları (PSO)	48
Çizelge 2. 12 Dördüncü optimizasyon sonuçları (PSO).....	49
Çizelge 2. 13 Beşinci optimizasyon sonuçları (PSO).....	50
Çizelge 2. 14 Güçlü damgalama için bulunan modeller ve ölçek faktörleri (Model 1) 53	
Çizelge 2. 15 Model 1 ile bulunan ölçek faktörleri kullanılarak yapılan damgalamanın saldırıları karşı dayanıklılık performansı.....	53
Çizelge 2. 16 Model 1 ile bulunan ölçek faktörleri kullanılarak yapılan damgalamanın görünmezlik performansı	54
Çizelge 2. 17 Güçlü damgalama için bulunan modeller ve ölçek faktörleri (Model 2) 55	
Çizelge 2. 18 Model 2 ile bulunan ölçek faktörleri kullanılarak yapılan damgalamanın saldırıları karşı dayanıklılık performansı.....	56
Çizelge 2. 19 Model 2 ile bulunan ölçek faktörleri kullanılarak yapılan damgalamanın görünmezlik performansı	57
Çizelge 2. 20 Güçlü damgalama için bulunan modeller ve ölçek faktörleri (Model 3) 58	
Çizelge 2. 21 Model 3 ile bulunan ölçek faktörleri kullanılarak yapılan damgalamanın saldırıları karşı dayanıklılık performansı.....	59
Çizelge 2. 22 Model 3 ile bulunan ölçek faktörleri kullanılarak yapılan damgalamanın görünmezlik performansı	60
Çizelge 2. 23 Farklı optimizasyon yöntemleriyle elde edilen sonuçlar	61
Çizelge 2. 23 Farklı optimizasyon yöntemleriyle elde edilen sonuçlar (Devamı)	62
Çizelge 3. 1 FRIT ile Güçlü damgalama için bulunan modeller ve ölçek faktörleri... 68	
Çizelge 3. 2 Sonlu Ridgelet dönüşümü ile yapılan damgalamanın görünmezlik performansı	69

Çizelge 3. 3	R katında yapılan damgalamanın saldırılara karşı performansı	70
Çizelge 3. 4	G katında yapılan damgalamanın saldırılara karşı performansı.....	71
Çizelge 3. 5	B katında yapılan damgalamanın saldırılara karşı performansı	72
Çizelge 3. 6	FRIT ile Yarı kırılğan damgalama için bulunan modeller ve ölçek faktörleri	75
Çizelge 3. 7	Model 4 ile R katında yapılan damgalamanın saldırılara karşı dayanıklılık performansı	76
Çizelge 3. 8	Model 4 ile G katında yapılan damgalamanın saldırılara karşı dayanıklılık performansı	77
Çizelge 3. 9	Model 4 ile B katında yapılan damgalamanın saldırılara karşı dayanıklılık performansı	78
Çizelge 3. 10	DTCWT ile damgalama için bulunan modeller ve ölçek faktörleri.....	79
Çizelge 3. 11	Kompleks Ridgelet dönüşümü ile yapılan damgalamanın görünmezlik performansı	80
Çizelge 3. 12	R katına Kompleks ridgelet dönüşümüyle yapılan damgalamanın saldırılara karşı dayanıklılık performansı.....	81
Çizelge 3. 13	G katına Kompleks ridgelet dönüşümüyle yapılan damgalamanın saldırılara karşı dayanıklılık performansı.....	82
Çizelge 3. 14	B katına Kompleks ridgelet dönüşümüyle yapılan damgalamanın saldırılara karşı dayanıklılık performansı.....	83
Çizelge 4. 1	CT ile damgalama için bulunan modeller ve ölçek faktörleri.....	87
Çizelge 4. 2	R katına Contourlet dönüşümüyle yapılan damgalamanın saldırılara karşı dayanıklılık performansı	88
Çizelge 4. 3	G katına Contourlet dönüşümüyle yapılan damgalamanın saldırılara karşı dayanıklılık performansı	89
Çizelge 4. 4	B katına Contourlet dönüşümüyle yapılan damgalamanın saldırılara karşı dayanıklılık performansı	90
Çizelge 4. 5	Contourlet dönüşümü ile yapılan damgalamanın görünmezlik performansı	91
Çizelge 4. 6	CT ile Yarı kırılğan damgalama için bulunan modeller ve ölçek faktörleri	93
Çizelge 4. 7	R katına Contourlet dönüşümüyle yapılan yarı kırılğan damgalamanın saldırılara karşı dayanıklılık performansı.....	94
Çizelge 4. 8	G katına Contourlet dönüşümüyle yapılan yarı kırılğan damgalamanın saldırılara karşı dayanıklılık performansı.....	95
Çizelge 4. 9	B katına Contourlet dönüşümüyle yapılan yarı kırılğan damgalamanın saldırılara karşı dayanıklılık performansı.....	95
Çizelge 4. 10	Contourlet dönüşümü ile yapılan damgalamanın görünmezlik performansı	96

ÖZET

ÇOKLU-BİYOMETRİK VERİLERLE GÖRÜNTÜ DAMGALAMA

Aysun TUTAK ERÖZEN

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Nihan KAHRAMAN

İnternet kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte bilgi güvenliği her geçen gün daha önemli bir hale gelmektedir. Çünkü bilgiler kolaylıkla kopyalanabilir, çalınabilir ve taklit edilip kötü amaçlarla kullanılabilir. Özellikle kişisel bilgilerin güvenliğini sağlamak için birçok önlem alınmaktadır. Bunlardan en çok bilineni kişisel parolalardır. Ancak bu parolaların çalınma ihtimali de bulunmaktadır. Bu nedenle bilgiye erişim için yetkili kişilerin biyometrik özellikleri de kullanılabilir. Çünkü biyometrik veri kişiye özeldir ve taklit edilemez. Bir yerine birden çok biyometrik verinin bir arada kullanılması güvenliği daha da arttırmaktadır. Ancak bu biyometrik verilerin de bir veri merkezinde depolanması gerekmektedir. Biyometrik verilerin olduğu gibi değil de farklı veriler içine gizlenerek depolanması ekstra bir güvenlik katmanı sağlayacaktır. Bu nedenlerle; kişilere ait biyometrik verilerin taşıyıcı bir görüntü içerisine damga olarak yerleştirilmesi düşünülmüştür. Bu tezde avuç içi, iris ve kulak verileri damga olarak kullanılmıştır.

Damgaları geri elde etmek için kullanılacak yöntem sadece yetkili kişi tarafından bilinmektedir ve yetkisiz kişilerin bu damgaları rastgele yöntemlerle çıkarması mümkün değildir. Kötü amaçlı kişiler bu verilere erişmeye çalışırken damgalanmış resme farklı tipte saldırılar yaparlar. Sistemlerin özelliğine göre bazı durumlarda saldırı sonucunda damga verilerinin tamamen kaybolması (kırılgan damgalama) istenirken, bazı durumlarda damgaların saldırılara karşı dayanıklı olması (güçlü damgalama) istenmektedir.

Bu tezde farklı yöntemler (tekil değer ayrışımı, sonlu ridgelet dönüşümü, contourlet dönüşümü) kullanılarak güçlü damgalama ve yarı kırılğan damgalama için uygun yöntemler ve bu yöntemler sırasında kullanılacak olan ölçek faktörlerinin belirlenmesi sağlanmıştır. Ölçek faktörlerinin belirlenmesinde iteratif ve analitik optimizasyon yöntemleri kullanılmıştır. Bu yöntemler spiral optimizasyon, parçacık sürü optimizasyonu ve polinomsal yaklaşımdır.

Anahtar Kelimeler: Çoklu biyometrik damgalama, tekil değer ayrışımı, sonlu ridgelet dönüşümü, contourlet dönüşümü, optimizasyon



ABSTRACT

IMAGE WATERMARKING WITH MULTI-BIOMETRIC DATA

Aysun TUTAK ERÖZEN

Department of Electronics and Communications Engineering

PhD. Thesis

Adviser: Dr. Öğr. Üyesi Nihan KAHRAMAN

With the widespread use of the Internet, information security becomes more important every day. Because, the information can be easily copied, stolen and imitated and can be used for bad purposes. In particular, many measures are taken to ensure the security of personal information. The most popular of these are personal passwords. However, these passwords are also likely to be stolen. For this reason, biometric features of authorized people can also be used for access to information. Because the biometric data are personal and cannot be imitated. The use of multiple biometric data in combination instead of one increases security. However, these biometric data also need to be stored in a data center. Rather than storing biometric data as they are, storing data after hiding in different data will provide an extra layer of security. For these reasons; it is thought that the biometric data belonging to the person will be placed as watermarks in a host image. Palm print, iris and ear data are used as watermarks, in this thesis.

The method used to recover the watermarks is only known by authorized person and it is not possible for unauthorized people to get these watermarks with random methods. While the malicious people try to access this data, they apply different types of attacks to the watermarked image. Depending on the nature of the systems, in some cases it is desirable that the watermarks be completely lost (fragile watermarking) as a result of the attacks, whereas in some cases it is desirable that the watermarks be resistant to attacks (non-fragile watermarking).

In this thesis, different methods (singular value decomposition, finite ridgelet transform, contourlet transform) were used to determine suitable methods for non-fragile

watermarking and semi-fragile watermarking and scale factors to use in these methods. Iterative and analytical optimization methods were used to determine the scale factors. These methods are spiral optimization, particle swarm optimization and polynomial regression.

Keywords: Multi-biometric watermarking, singular value decomposition, finite ridgelete transform, contourlet transform, optimization



BÖLÜM 1

GİRİŞ

İnternetin yaygın kullanımıyla birlikte günümüzün en büyük ihtiyaçlarından biri dijital verilerin güvenliğini sağlamaktır. İnternet aracılığıyla veriler çok hızlı ve kolay paylaşılabilmektedir. Bu da; kötü niyetli kişiler tarafından verilerin çalınması, kopyalanması, çoğaltılması ve dağıtılması gibi problemlere yol açmaktadır.

Görüntülerin gizlenebilmesi ya da telif haklarının korunması için damgalama teknikleri kullanılabilir. Görüntü damgalamayı temel olarak iki görüntünün birleştirilmesi şeklinde düşünebiliriz. Bu iki görüntüden biri taşıyıcı görüntü, diğeri ise damga görüntüsüdür.

Telif hakkı gibi konularda taşıyıcı görüntü bir kişi ya da kuruluşa ait bir fotoğraf olurken, damga verisi kişiyi/kuruluşu tanıtan bir amblem olabilir. Örneğin Şekil 1. 1’de görüldüğü gibi AmCap [1] programının deneme sürümüyle fotoğraf çekildiğinde program kendi amblemini fotoğrafların üzerine damga olarak eklemektedir. Bu durumda korunmak istenen taşıyıcı görüntüdür, damga ise taşıyıcı resmi elde eden programın telif hakkını koruma amaçlı kullanılır.

Damgalama işleminin istendiği diğeri bir durum ise bunun tam tersidir. Taşıyıcı görüntü koruma amaçlı kullanılır. Damga resmi ise korunan konumdadır. Bu durumda sadece taşıyıcı resmi görürüz, damga resmini elde etmek için bazı işlemleri doğru sırada yapmak gerekir. Böylelikle sadece doğru işlemleri yapabilen yetkili kişiler bu bilgilere erişir. Örneğin Şekil 1. 2’deki görüntü damgalanmış bir görüntüdür ancak damga resmi açık bir şekilde görünmemektedir.

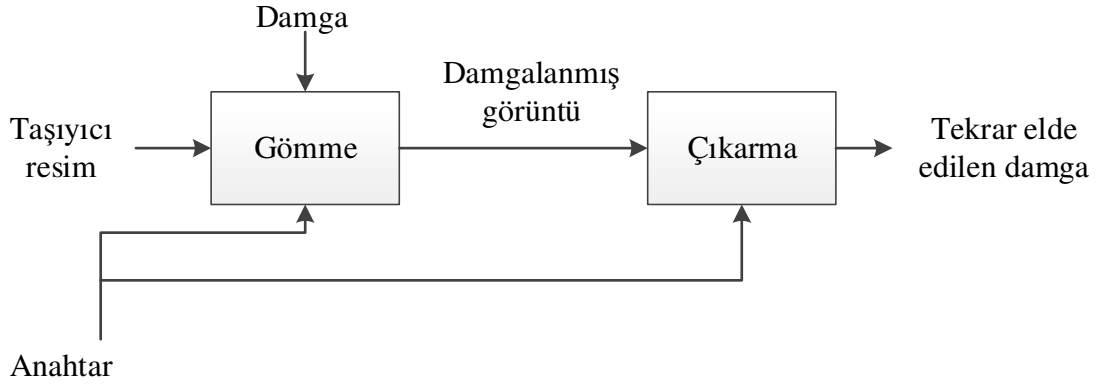


Şekil 1. 1 Algılanabilir damgalamaya (filigran) bir örnek



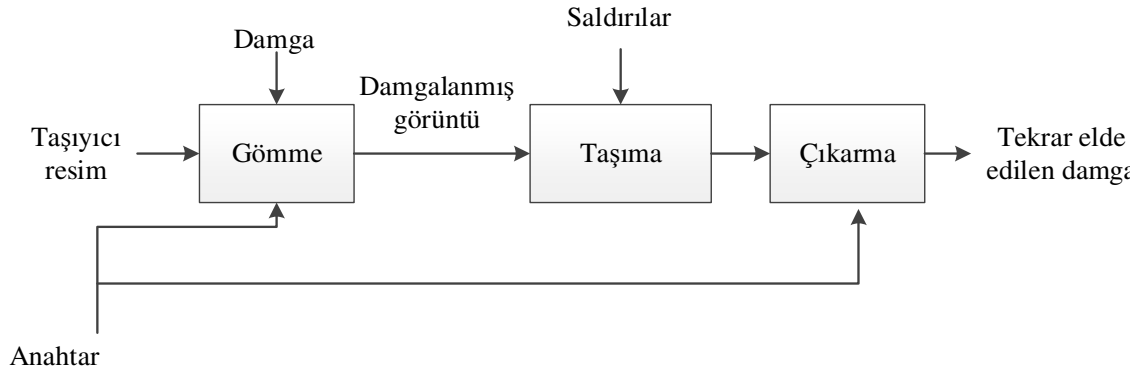
Şekil 1. 2 Algılanamaz damgalamaya bir örnek

Damgalanmış verinin elde edilebilmesi için damgalama yönteminin ve kullanılan anahtarın bilinmesi gerekir. Bu da istenmeyen kişiler tarafından bu verilerin elde edilmesini zorlaştırmaktadır. Yine de verilerin çalınması ve taklit edilmesi ihtimaline karşın, sisteme giriş için biyometrik veriler kullanılabilir. Çünkü biyometrik veriler kişiye özeldir ve taklit edilemez. Özellikle de çoklu biyometrik veri kullanıldığında iş daha da karmaşıklaşmakta ve sistemin güvenliği artmaktadır. Damgalama işleminde taşıyıcı olarak ses, görüntü ve video kullanılabilir. Bu tezde taşıyıcı olarak görüntü kullanılmıştır.



Şekil 1. 3 Damgalama işlemi (Akter [2])

Görüntü damgalama işlemi Şekil 1. 3’de gösterildiği gibi taşıyıcı görüntü, damga görüntüsü, anahtar ve damgalama sırasında kullanılan yöntemden oluşur. Bu akışta damganın çıkarılması için kullanılan yöntem, damganın gömülmesi sırasında kullanılan yöntemin tersidir. Tekrar elde edilen damganın gömülen damga ile aynı olması beklenir. Ancak bazen damgalanmış görüntüye taşıma esnasında çeşitli saldırılar uygulanmış olabilir ve bu durumda tekrar elde edilen damga bozulmuş olabilir. Bu durum da Şekil 1. 4’de gösterilmektedir.



Şekil 1. 4 Damgalanmış görüntünün taşıma sırasında saldırıya uğraması

Damgalama işlemi çeşitli kıstaslara göre sınıflandırılır. Bunlardan ilki taşıyıcı resme ihtiyaç duyup duymamaya göre yapılır. Damgalanmış görüntüden damgayı geri elde etmek istediğimizde taşıyıcı görüntüye ihtiyaç duyuyorsak buna “kaynaklı damgalama”, taşıyıcı görüntüye ihtiyaç duymuyorsak buna “kör damgalama” denir.

Diğer bir sınıflama ise damganın algılanıp algılanmamasına göre yapılır. Damgalanmış görüntüye baktığımızda damgayı görebiliyorsak buna “algılanabilir damgalama”, eğer göremiyorsak “algılanamaz damgalama” denilir. Algılanabilir damgalama daha çok telif hakkını gösterme amaçlı kullanılır. Algılanamaz damgalama ise bir verinin gizlenmesi amacıyla kullanılır. Şekil 1. 5’de algılanabilir damgaya bir örnek verilmiştir.



Şekil 1. 5 Algılanabilir damgalamaya bir örnek

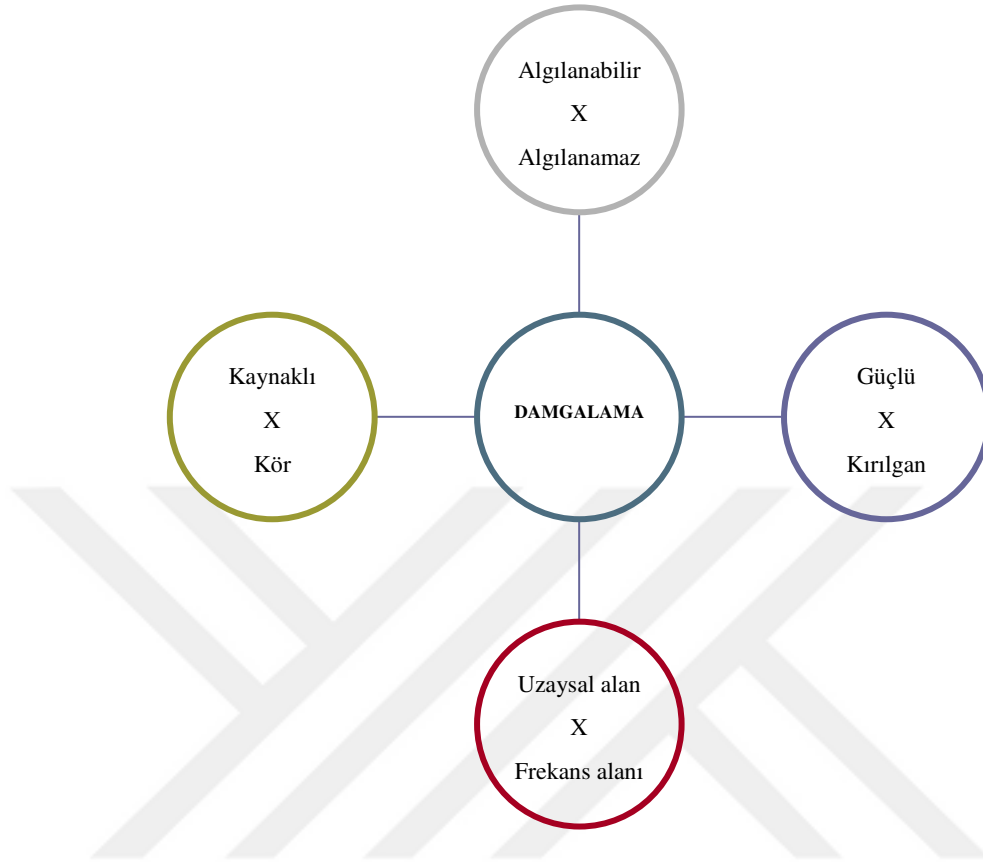
Bir diğer sınıflandırma ise damganın geri elde edilebilirliğine göre yapılmaktadır. Güçlü damgalama yönteminde amaçlanan damgalanmış resme yapılabilecek çeşitli saldırılara rağmen damga görüntüsünün geri elde edilebilmesidir. Kırılgan damgalamada ise damgalanmış görüntüye yapılan en ufak saldırıda bile damga görüntüsünün bozulmuş olması istenir. Böylelikle görüntüye her hangi bir müdahalede bulunduğu hemen anlaşılabilir. Damgalanmış görüntüye karşı yapılan bazı saldırılar karşısında damganın bozulmaması ancak bazı saldırılar karşısında damganın bozulması isteniyorsa bu durumda da yarı-kırılgan damgalama kullanılır.

Damgalanın sınıflandırılmasında kullanılan diğer bir yöntem ise damgalamanın yapıldığı alandır. Damgalama işlemi uzaysal alanda ya da frekans alanında yapılabilir. Uzaysal alanda yapılan damgalamada taşıyıcı ya da damga resmine herhangi bir frekans dönüşümü uygulanmaz. Çeşitli yöntemlerle taşıyıcı resmin bazı ya da bütün piksellerine damga yerleştirilir. Uzaysal alanda yapılan ve en çok bilinen yöntem en düşük değerlikli bitin değiştirilerek bu bite veri saklanmasıdır. [4] Frekans alanında yapılan damgalama işleminde ise Ayrık Kosinüs Dönüşümü (DCT), Ayrık Fourier dönüşümü (DFT) gibi 2 boyutlu frekans dönüşümleri uygulanır. [3]

Şekil 1. 6’da damgalama işleminin farklı kıstaslara göre sınıflandırılması görülmektedir.

Bu tezde kaynaklı ve algılanamaz damgalama yöntemi kullanılmıştır. Damgalamanın kullanılma amacına göre güçlü, kırılgan ya da yarı kırılgan olması istenir. Bu çalışmada

da güçlü ve yarı kırılğan damgalama için değerdendirmeler yapılmış ve kullanılabilecek damgalama yöntemleri belirlenmiştir.



Şekil 1. 6 Damgalama işleminin sınıflandırılması

Damgalama performansının ölçülmesi için iki kıstas kullanılır. Bunlardan ilki taşıyıcı görüntü ile damgalanmış görüntü arasındaki benzerliktir. Bu benzerliğin ölçümü için kullanılan birim PSNR'dir. PSNR pik sinyal gürültü oranını ifade eder ve Eşitlik 1.1'deki gibi hesaplanır.

$$PSNR = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{MAX_I^2}{MSE} \right) = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{MAX_I}{\sqrt{MSE}} \right) \quad (1.1)$$

MAX_I , görüntü içindeki bir pikselin alabileceği en yüksek değerdir. 8 bit ile gösterilen görüntüler için bu değer 255'tir. MSE, Ortalama kareler hatasıdır. Damgalanmış görüntü (DG) ile taşıyıcı görüntü (TG) arasındaki her bir pikselin farkının karelerinin toplamının görüntü içindeki toplam piksel sayısına bölünerek ortalamasının bulunmasıdır. (Eşitlik 1.2) Bu formüldeki m ve n, görüntünün yatay ve dikey piksel sayısını gösterir.

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} [DG(i, j) - TG(i, j)]^2 \quad (1.2)$$

İkinci performans kistası ise kullanılan ilk damga görüntüsü (İG) ile damgalanmış görüntüye yapılan saldırılar sonrasında geri elde edilebilen damga (GD) arasındaki benzerliktir. (Eşitlik 1.3) Buna korelasyon katsayısı denir.

$$CC = \frac{\sum_i \sum_j (\dot{ID}(i, j) - \dot{ID}_{ort})(GD(i, j) - GD_{ort})}{\sqrt{\left(\sum_i \sum_j \dot{ID}(i, j) - \dot{ID}_{ort}\right)^2 \left(\sum_i \sum_j GD(i, j) - GD_{ort}\right)^2}} \quad (1.3)$$

Güçlü damgalamada ilk damga (İD) ve tekrar elde edilen damga (GD) arasındaki benzerlik yüksek olmalıdır. Kırılgan damgalamada ise damganın tekrar elde edilememesi gerekir.

Tezin genel yapısı ise aşağıdaki şekilde olacaktır. Birinci bölümde tez süresince gerçekleştirilen literatür araştırması aktarılmıştır. Araştırmalar sırasında uzaysal alanda kullanılan yöntemlerde Tekil Değer Ayrışımı (SVD) yönteminin başarılı olduğu görülmüş ve çoklu biyometrik verilerin saklanması için kullanılabileceği düşünülmüştür. Frekans alanında kullanılan Ayırık Dalgacık Dönüşümü (DWT), Ayırık Fourier Dönüşümü (DFT), Ayırık Kosinüs Dönüşümü (DCT) gibi temel yöntemler incelenmiştir. Frekans alanında ise Ayırık Dalgacık Dönüşümü' ne göre nispeten yeni olan Ayırık Ridgelet Dönüşümü (FRIT) ve Contourlet Dönüşümleri (CT) ile çalışılmaya karar verilmiştir.

İkinci bölümde uzaysal dönüşümlerden olan SVD ilgili yapılan çalışmalar anlatılmıştır. Bunun için öncelikle SVD kavramı özetlenmiştir. Ölçek faktörünün, çoklu biyometrik veri damgalamadaki başarısını doğrudan etkilediği görülmüştür. Doğru ölçek faktörünü seçmek için kullanılabilecek olan optimizasyon yöntemleri ve bu yöntemlerle elde edilen sonuçlar bu bölümde anlatılmıştır. Özellikle farklı uygunluk fonksiyonlarının sonuçlar üzerindeki etkileri tartışılmıştır. Sonuç olarak güçlü damgalama yöntemi olarak kullanılabileceği görülmüştür.

Üçüncü bölümde frekans alanındaki dönüşümlerden olan FRIT dönüşümünün temelleri anlatılmıştır. FRIT ve Kompleks Ayırık Ridgelet Dönüşümü (CFRIT) ve polinomsal yaklaşıklık ile çoklu biyometrik veri damgalama uygulamaları yapılmıştır. Her iki

dönüşümün sonuçları değerlendirilmiştir. FRIT dönüşümün, yarı kırılğan damgalamalarda kullanılabileceği görülmüştür.

Dördüncü bölümde frekans alanındaki daha yeni dönüşümlerden olan CT anlatılmış ve çoklu biyometrik veri damgalamada kullanım uygunluğu araştırılmıştır. Çeşitli uygunluk fonksiyonları denenmesine rağmen güçlü damgalamaya uygun olmadığı görülmüştür. Bu nedenle doğru bir ölçek faktörü kullanarak bu yöntemin kırılğan damgalama uygulamalarında kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Beşinci bölümde ise yapılan araştırma ve çalışmaların değerlendirilmesi ve sonraki çalışmalar için tavsiyeler yazılmıştır.

1.1 Literatür Özeti

1.1.1 Damgalama Yöntemleri

Raphael ve Sundaram [4] bilgi güvenliğiyle ilgili stenografi ve kriptografi temel kavramlarını ve kavramlar arasındaki farkları açıklamışlardır. Çizelge 1. 1’de, yapılan bu karşılaştırma görülmektedir.

Çizelge 1. 1 Steganografi ile kriptografinin karşılaştırılması [4]

Stenografi	Kriptografi
Bilinmeyen mesaj geçişi	Bilinen mesaj geçişi
Stenografi, iletişimin varlığının keşfedilmesini engeller	Şifreleme, yetkisiz bir kişinin iletişim içeriğini keşfetmesini önler
Az bilinen teknoloji	Ortak teknoloji
Belli formatlar için hala geliştirilen teknoloji	Algoritmaların çoğu herkes tarafından bilinir
Tespit edildiğinde mesaj bilinir	Güncel güçlü algoritmalar şu anda saldırıya karşı dirençlidir, kırmak için daha fazla bilgisayar gücü gerekir
Stenografi gizli mesajın yapısını değiştirmez	Kriptografi gizli mesajın yapısını değiştirir

Temel olarak, kriptografi verinin şifrlenmesidir bu nedenle veri bulunsa bile şifreli olduğu için anlaşılamayacaktır. Stenografi ise verinin gizlenmesidir. Gizlenecek mesajlar bir taşıyıcı içine yerleştirilerek iletilir. Verilerin görüntü içine saklanması, yani damgalama tekniğinin temelinde de bu vardır.

Damgalama konusunda bugüne kadar farklı teknikler kullanılmıştır. Agarwal ve Choudhary [3] damgalama yöntemiyle veri saklanmasıyla ilgili geniş bir araştırma yapmışlardır. Bu araştırmalarında video damgalama tekniklerini anlatmışlardır. Damgalama tekniklerini uzaysal alan ve frekans alanında olmak üzere iki başlıkta incelemişlerdir. Bu çalışmada, uzaysal alanda kullanılan yöntemlerden En Düşük Değerli Bit (LSB) damgalama, Korelasyon tabanlı damgalama ve Spektrum tabanlı damgalama teknikleri anlatılmıştır. Frekans alanında kullanılan tekniklerden ise DFT tabanlı damgalama, DCT tabanlı damgalama, DWT tabanlı damgalama, Radon Dönüşümü tabanlı damgalama, Temel Bileşen Analizi tabanlı damgalama, Lifting dalgacık dönüşümü tabanlı damgalama teknikleri anlatılmıştır. Üç farklı teknik uygulanarak sonuçları karşılaştırılmıştır. Bunlardan ilki DWT tekniğidir. İlk uygulamada, veri taşıyıcı görüntünün LL bileşenine (alçak frekans bandına) gizlenmiştir. Diğer iki uygulamada ise DWT ve SVD teknikleri kullanılmıştır. Bu iki uygulama arasındaki fark ise; bir uygulamada taşıyıcı görüntünün Y-Cb-Cr bileşenlerine ayrıldıktan sonra, Y'nin düşük frekanslı LL bileşeni kullanılırken, diğer uygulamada, taşıyıcı resmin R-G-B bileşenlerinden B'nin düşük frekanslı LL3 bileşeninin kullanılmasıdır. Damgalama işlemi yapılırken; damga görüntüsüne ait katsayılar ölçek faktörü denilen ve kullanıcı tarafından belirlenen bir sayı ile çarpıldıktan sonra taşıyıcı görüntüye ait katsayılar ile toplanır. Bu çalışmada ölçek faktörü sabit ve 0,1 olarak kullanılmıştır. Normal ve saldırı durumlarında tekrar elde edilen görüntülerin performansı CC ve PSNR hesaplanarak değerlendirilmiştir. Damganın görüntü içerisine gömülmesi ve görüntüden çıkarılma süreleri kıyaslanmıştır. Sonuçlara göre CC'na göre ikinci uygulama, PSNR'ye göre ise üçüncü uygulama daha yüksek değer elde etmiştir. Bu da damganın görüntü içerisinde daha belli olduğunu gösterir. Ayrıca B çerçevesi silindiğinde bilginin tamamen kaybolma durumu vardır. DWT ve SVD yöntemlerinin bir arada kullanılarak yapılan damgalamanın, sadece DWT ile yapılan uygulamadan daha başarılı olduğu görülmüştür.

Zifen ve Yinhui [5] yarı tonlu görüntülerde damgalama işlemi yapmıştır. Yarı tonlu görüntüler, ağırlıklı en küçük kareler modeli ve kümeleme yöntemiyle elde edilmiştir.

Daha önce Kim ve Allebach [6] Gauss Karışım Modeli kullanılarak elde edilen yarı tonlu görüntülerde yapılan çalışma ile kıyaslanmıştır.

Kaur ve Jindal [7] de Agarwal ve Choudhary [3] gibi Ayrık Dalgacık Dönüşümü ve Tekil Değer Ayrışımı yöntemini kullanmıştır. Farklı olarak, veriler yüksek frekanslı H bantlarına saklanmıştır. Farklı taşıyıcı görüntülerle yapılan uygulamalara filtreleme, gürültü ekleme, döndürme gibi farklı saldırılar yapılmıştır ve saldırı sonucu elde edilen damga görüntülerinin kalitesi PSNR oranı, CC ve MSE kullanılarak değerlendirilmiştir.

Gonge ve A.Ghatol [8] Ayrık Dalgacık Dönüşümü ve Ayrık Kosinüs Dönüşümü tekniklerini bir arada kullanmıştır. Burada, banka çekine imza bilgisi gizlenmiştir. Taşıyıcı resmin Ayrık Dalgacık Dönüşümü ile orta frekanslı HL2 bandı elde edilmiş ve bu bant 4x4'lük bloklara bölünerek her bir bloğa Ayrık Kosinüs Dönüşümü işlemi uygulanmıştır. Gri seviyeli olan damga görüntüsü rastgele sayı üretici ile üretilen sırada dizilmiş, daha sonra bu dizi taşıyıcı resmin Ayrık Kosinüs Dönüşümü katsayılarına eklenmiştir. Burada katsayı adedi ile damga görüntüsüne ait verilerin aynı uzunlukta olması önemlidir. Farklı seviyelerde Ayrık Dalgacık Dönüşümü işlemi tekrarlanmış ve PSNR değerleri kıyaslanmıştır.

Kakkirala ve Chalamala [9] Ayrık Dalgacık Dönüşümü ve Tekil Değer Ayrışımı tekniklerini kullanmışlardır. Bunun için taşıyıcı resmin düşük frekanslı LL bandı kullanılmıştır. Agarwal ve Choudhary [3] ve Kaur ve Jindal [7] tarafından yapılan çalışmalardan farklı olan yönü ise damga görüntüsünün doğrudan değil, halka otomorfizma işleminden geçirilerek uygulanmasıdır. Yani damga görüntüsündeki piksellerin yerleri belli bir sisteme göre değiştirilmiştir. Halka otomorfizması dinamik bir sistemdir. Zamana göre belli bir adım değeri vardır ve periyodiktir. JPEG sıkıştırma, yeniden ölçeklendirme ve gauss filtre saldırılarına karşı başarısı ölçülmüştür. Sonuçlar Bit Hata Oranı ile değerlendirilmiştir. Rotasyon saldırılarında başarı oranı düşüktür.

Mohammed vd. [10] uzaysal alanda, taşıyıcı resmin her bir pikseline 2 adet bit saklayarak damgalama yapmışlardır. 8 bite sahip pikselin 2. ve 7. pikselleri arasında yer alan 2 piksele veri yerleştirilmiştir. Piksellerin ikili kombinasyonu ile elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Değerlendirilmede NCC (Normalize Çapraz Korelasyon) yöntemi kullanılmıştır. Eşitlik 1.4'te İD ilk damgayı, GD ise geri elde edilen damgayı

göstermektedir. Bütün saldırıların sonucunda yapılan değerlendirilmeye göre 4. ve 6. bitlere veri saklandığında en başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

$$NCC = \frac{1}{mn} \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n DG(i, j)GD(i, j)}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n DG(i, j)^2} \quad (1.4)$$

İbrahim vd. [11] taşıyıcı resmi tek ve çift sütunlar, tek ve çift satırlar olarak birinci seviye girişimi olan iki parçaya ayırmıştır. Tek Satır-Tek Sütun, Tek Satır-Çift Sütun, Çift Satır-Tek Sütun, Çift Satır-Çift Sütun olarak yapılan ayırım ise 2. Seviye girişimdir. Bütün bu kombinasyonlar için ayrı ayrı damgalama işlemleri yapılmıştır. DWT ile elde edilen orta frekanslı HL3 ve LH3 bantlarına damgalama verileri yerleştirilmiştir. Damgalama verisinin doğrudan yerleştirilmesi yerine, damga verisine Arnold dönüşümü uygulanmış ve bu işlemten sonra elde edilen değerler yerleştirilmiştir. Taşıyıcı resmin R bileşeni kullanılmıştır. Çünkü R bileşeninde girişim ile ayırım yapılan iki bölüm birbirine daha çok benzemektedir. Böylelikle bir resmin yarısı damgayı içeren kısım olacak, diğer yarısı ise damgayı çıkarmak için kullanılacak olan ana görüntü olarak kabul edilmiştir. Damga verisini taşıyıcı görüntüden çıkarmak için taşıyıcı resme de ihtiyaç duyulan kaynaklı damgalama sistemleriyle sonuçlar kıyaslandığında, sonuçların yeteri derecede iyi olduğuna ve taşıyıcı resmin tamamına ihtiyaç duyulmadığı sonucuna varılmıştır.

Maity vd. [12] yüksek miktarda damga verisi yerleştirirken taşıyıcı görüntüde minimum bozulmaya neden olacak yöntem üzerine çalışmışlardır. Bunun için öncelikle, taşıyıcı görüntü 2 pikselden (x,y) oluşan gruplara ayrılır. (x,y) piksel değerleri daha önce belirlenen eşik değerinden düşükse tersinir kontrast haritalama işlemi ile bu piksel değerleri yeni değerlere (x',y') dönüştürülür ve y' nin son bitine veri saklanabilir. y' tekse x'' nün son biti 1, değilse 0 olur. Tersinir kontrast haritalama işlemi sonunda elde edilen görüntüde medyan kenar detektörü kullanılarak her piksele yeni bir değer verilir. Öngörü hatası (PE) hesaplanır. Eğer x+PE 0 ile 255 arasında bir değere sahipse bu piksele damga verisi saklanır, değilse saklanmaz. Caciula ve Coltuc [13] de aynı yöntemleri kullanmıştır. Farklı olarak; PE değeri daha önceden belirlenen t değerinden büyükse t+1' den itibaren histogram sağa kaydırılır veya PE, t-1'den küçükse t-1den itibaren histogram sola kaydırılır. t+1'de veya t-1'de boşluk oluşturulmuş olur. Damga verisi bu boşluğa gömülür. PE'nin dağılımı Laplas dağılımıdır. Eğer damga verisi fazla

piksel içermiyorsa yani düşük bit oranı varsa en soldaki bine işlem yapılır daha sonra en sağa, yetmezse tekrar sola dönerek yerleştirme işlemi devam eder. Böylece asıl resmin görünümünde bozukluk minimum tutulmuş olur.

1.1.2 Biyometrik Verilen Saklanma Yöntemleri

Biyometrik verilerin kullanılması sistemin güvenliğini arttırmaktadır ancak biyometrik veriler çalındığı takdirde bunun dönüşü olmamaktadır. Başka bir sisteme ait şifreniz çalındığında bu şifreyi değiştirme imkânınız vardır ya da kredi kartınız çalındığında yeni bir kart alabilirsiniz ancak biyometrik veri değiştirilemez olduğundan yenileme imkânı yoktur. Damgalama tekniklerinin kullanım amaçlarından biri de bu problemi önlemeye yöneliktir. Jain ve Uludağ [14] bu amaçla parmak izi görüntüsü içerisine insan yüzü görüntüsünü yerleştirilmiştir. Öncelikle parmak izine ait öz nitelikler çıkartılır. Daha sonra insan yüzüne ait veriler bitlere dönüştürülür ve öz değer katsayıları hesaplanır. Parmak izinde hangi piksellere damga verisi yerleştirileceği rastgele sayı üretici ile belirlenir. Verinin yerleştirileceği pikselin komşu piksellerle birlikte standart sapması ve o pikselin gradient değerinin de kullanıldığı bir formülle pikselin değeri değiştirilerek veri saklanır. Ters işlemler yapılarak veri tekrar çıkartılabilir.

Satonaka [15] internetin ve internet üzerindeki e ticaret uygulamalarının yaygınlaşmasıyla birlikte hem işletmeler hem de müşteriler açısından oluşan güvenlik endişesinden bahsetmiştir. Mobil/multimedya cihazlarında güvenliği artırma çalışmaları, beraberlerinde biyometrik verilerin kullanımını gerektirmiştir. Biyometrik verilerin üzerinde değişiklik yapılmaması için damgalama yöntemleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada da dağıtılmış bir ağda, yüz imzasını tanımak için birden fazla kural içeren damgalama prosedürü anlatılmıştır. Belirgin yüz özellikleri imza olarak kullanılmıştır. Yüz ve göz tanıma için Ağaç Yapılı Vektör Kuantalama ve Destek Vektör Makineleri (SVM) kullanılmıştır. Görüntü sentezi içeren adaptif metrik öğrenme tekniği ile saldırganların öğrenilmesi önerilmiştir. Mahalanobis mesafesi ile giriş ve referans vektörleri kıyaslanarak yetkili ya da yetkisiz kararı verilir. Karar sınırının belirlenmesi için destek vektör makineleri kullanılır. Yanlış kullanıcılara ait veriler arttıkça ve öğrenildikçe sınıflandırma daha başarılı olmaktadır. Yanlış Kabul Oranı (FAR) ve Yanlış Reddetme Oranı (FRR) değerleri hesaplanmıştır. Amaç yanlış kabul oranı ve yanlış reddetme oranı toplam değerini sıfıra indirmektir. Bunun için çoklu doğrulama

önerilmiştir. Hem yüz bilgisi hem de damga bilgisi kullanılacaktır. Yüz resminin bulunması için Ağaç Yapılı Vektör Kuantalama kullanılmakta, damganın gömüleceği göz bölgesinin bulunması içinse Destek Vektör Makineleri kullanılmıştır. Yüz imzası Ayrık Kosinüs Dönüşümü ile oluşturulmuştur. İmza Ayrık Dalgacık Dönüşümü ile gömülmüştür. Çoklu kural, performansı büyük ölçüde arttırmıştır.

Hashimoto ve Nakamura [16] da yüz resmi içerisine yüz imzasını yerleştirmişlerdir. Bunun için gönderici tarafta yüz resmi ve arka plan birbirinden ayrılmıştır. Arka plan içerisine zincir kodu yerleştirilmiştir. Zincir kodu yüzün içinde bulunduğu dikdörtgen bölgenin sınır bilgisini içermektedir. Yüz içerisine imza yerleştirilmiştir. Taşıyıcı görüntü öncelikle 5x5 medyan filtreden geçirilmiştir ve her bir pikselin komşu pikselleriyle korelasyonu hesaplanmıştır. Orijinal piksel değeri korelasyon sonucu aldığı değerden daha düşük ya da yüksekse orijinal piksele veri saklanmıştır değilse saklanmamıştır. Pikselin yeni değeri ve pikselin medyan filtre sonucunda elde edilen değeri toplanmıştır. Saklanan bitin değeri 1 ise sonuç tek sayıya, bitin değeri çift ise sonuç çift sayıya dönüşmüştür. Alıcı tarafta, öncelikle arka plan içerisindeki yüz sınırları okunmuş, daha sonra ise yüzün içerisinden yüz imzası çıkarılmıştır.

Vatsa vd. [17] çapraz doğrulama amacıyla çoklu biyometrik sistemi kullanmışlardır. Bu nedenle yüz verisi içerisine, iris verisi damgalama ile yerleştirilmiştir. Sistemin tutarlılığı %98,6 çıkmıştır. İlk doğrulama için yüz bilgisi, çapraz doğrulama için iris bilgisi kullanılmıştır. Iris bilgisi 1D Log Gabor filtre ile elde edilen ikili değere sahip bitlerdir. Yüz verisi olarak ise, temel bileşen analizi (PCA) yöntemi sonucunda elde edilen değerler kullanılmıştır. Damgalama işleminde Modifiye korelasyon ve Modifiye 2B Ayrık Kosinüs Dönüşümü teknikleri kullanılmıştır. Korelasyon tabanlı algoritmada damga verisi belirli bir katsayı ile çarpılıp taşıyıcı resmin piksel değerleri ile toplanmaktadır. Damganın taşıyıcı görüntü içinde çok belirgin olmaması için katsayının değeri önemlidir. Burada modifiye olarak yapılan işlemse, taşıyıcı resmin medyan filtreden geçirilmiş olmasıdır. En son durumda ise yüz için ve yüzün içerisinden çıkarılan iris için Hamming mesafesi ile benzerlik ölçümleri yapılmıştır. Sınıflandırma işlemi için radyal tabanlı fonksiyonlar kullanılmıştır. Hiç bir damgalama işlemi yapmadan önceki sınıflandırma başarıları ile damgalama işlemi sonundaki başarı oranları kıyaslanmıştır. Damgalama işlemi sonucunda elde edilen değer biraz daha düşüktür ancak oldukça da yakındır.

Zebbich vd. [18] parmak izine ait özellik ayrıntı bilgilerini parmak izi resmi içine yerleştirmişlerdir. Bunun için 4. seviyeden Haar dalgacık dönüşümü kullanılmıştır. Köşegen, yatay ve dikey bileşenlere aynı bilgi yerleştirilmiştir. Bilgi üç defa yerleştirildiği için daha güvenli olmaktadır.

Wang ve Yuan [19] çalışmalarında her geçen gün artan mobil ticaret uygulamalarındaki güvenliği arttırmayı amaçlamışlardır. Birçok insan telefon bankacılığı gibi işlemleri kullanmaktadır. İnsan sesi DNA gibi insanı ayırt eden ve karakteristiği değişmeyen bir eşsiz biyometrik tanımlayıcıdır. Bu çalışmada haberleşme servis operatörü tarafından sunulmakta olan iki cep telefonu varsayılmıştır. Ayrıca üçüncü şahıslara ait bir sertifika yetkilisi tarafından her konuşmada yeni bir sertifika üretildiği varsayılmıştır. Mobil telefonlar alınan dijital sertifikaya göre dijital giden ses verisi için damgalama oluşturma modülüne sahiptir ayrıca gelen sesi de tanımaktadır. Çalışmada genel çalışma prensibi anlatılmıştır ancak damgalama için kullanılan yöntemler anlatılmamıştır.

Mohanty vd. [20] artan sınır güvenliği ihtiyacı için biyometrik verileri görüntü içine gömen yeni bir kamera sistemi sunmuştur. Damgayı gömme işlemi, görüntünün ve taşıyıcının kimliğini doğrulanmasına izin veren damgalama algoritması ile gerçekleştirilir. Bunun için VLSI mimarisi kullanılmıştır. Pasaport içinde bulunan kullanıcı fotoğrafına ikili görüntü gizlenmiştir. Taşıyıcı görüntü 8x8'lik bloklara bölünerek her bölüm için DCT uygulanır. Gizlenecek görüntü de 2x2'lik bloklara ayrılarak aynı işlem yapılır. Görüntü taşıyıcı resmin DC ve en düşük 3 frekanslı bileşenlerine gömülür. Gizlenecek piksel değeri 1 ise DCT katsayısına daha önceden belirlenmiş bir değer eklenir, gizlenecek piksel değeri 1 ise bu katsayılardan daha önceden belirlenmiş bir değer çıkarılır.

1.1.3 Damgalama İşleminin Optimizasyonu

Damgalama işlemlerinde damga görüntüsüne ait veriler çoğunlukla bir ölçek faktörüyle çarpılarak taşıyıcı görüntünün içine gömülmektedir. Kullanılan ölçek faktörü, taşıyıcı görüntüde oluşan bozulma miktarını doğrudan etkiler. Bu katsayı yükseldikçe taşıyıcı görüntüdeki bozulma miktarı artar, belli bir aşamadan sonra damga görüntüsü görünür hale gelir. Bir taraftan da ölçek faktörünün değeri yükseldikçe damgalanmış görüntü daha güçlü hale gelir. Yani damgalanmış görüntüye çeşitli saldırılar yapılsa da damga görüntüsü büyük oranda geri elde edilebilir. Eğer amaç, damganın yapılan saldırılara

rağmen geri elde edilebilmesi, aynı zamanda da taşıyıcı görüntüdeki bozulma miktarını mümkün olan en düşük seviyede tutmak ise ölçek faktörünün optimize edilmiş değerinin bulunması gerekir.

Aslantaş vd. [21] taşıyıcı görüntüyü DWT ile frekans bileşenlerine ayırmıştır. Sonrasında ise taşıyıcı görüntünün bütün frekans bantları SVD ile U, S ve V bileşenlerine ayrılmıştır. Damga görüntüsü de SVD ile U, S ve V bileşenlerine ayrılmıştır. Taşıyıcı görüntünün her bir frekans bandındaki S değerleri, damga görüntüsünün S değerleriyle ölçek faktörü kullanılarak toplanmıştır. Buradaki ölçek faktörünün bulunması için Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) kullanılmıştır. Optimizasyon için Döndürme, Keskinleştirme, Yeniden Ölçeklendirme, Ortalama filtresi, Gauss gürültüsü ve JPEG sıkıştırma saldırıları kullanılmıştır. Uygunluk fonksiyonu F aşağıdaki gibi seçilmiştir. Damga taşıyıcı görüntüye toplamda dört kere gömüldüğü için en yüksek korelasyon değerini veren frekans bölgesinin değeri hesapta kullanılmıştır.

$$F = \max \left(\frac{N}{\sum_{i=1}^N CC_{i,damga}} \right) - CC_{taşıyıcı} \quad (1.5)$$

Monamizadeh ve Seyedin [22] de benzer bir uygulama yapmıştır. Bu çalışmadaki fark ise optimizasyon yöntemi olarak Elitist Domine edilmemiş Sıralama Genetik Algoritması'nın kullanılmasıdır. İki adet minimize edilmesi istenen uygunluk fonksiyonu vardır. Bunlardan ilki orijinal damgalar ile saldırılar sonrasında elde edilen damgalar arasındaki MSE yani ortalama kareler hatasıdır. Diğer ise taşıyıcı görüntü ile damgalanmış görüntü arasındaki CC'dir. Bu çalışmada kullanılan saldırılar Döndürme, Yeniden Ölçeklendirme, Kırpma, Keskinleştirme, Gauss gürültüsü, JPEG sıkıştırma ve medyan filtresidir.

Golea vd. [23] de damgalama için Tekil Değer Ayrışımını, optimizasyon yöntemi olarak Elitist Domine edilmemiş Sıralama Genetik Algoritmasını kullanmıştır. Burada kullanılan ilk uygunluk fonksiyonu damgalanmış görüntü ile taşıyıcı görüntü arasındaki MSE yani ortalama kareler hatasıdır. Diğer uygunluk fonksiyonu ise orijinal damgalar ile saldırılar sonrasında elde edilen damgalar arasındaki CC kullanılarak elde edilen 1-CC değeridir. Burada on farklı tipte saldırı için değerlendirmeler yapılmıştır.

Modaghegh vd. [24] kör ve yarı kırılğan damgalama üzerine çalışmışlar ve bu çalışmada optimizasyon yöntemi olarak Genetik Algoritmayı kullanmışlardır. Taşıyıcı görüntü öncelikle 8x8'lik bloklara bölünmüştür. Her bir blok Tekil Değer Ayrışımı ile bileşenlerine ayrılmıştır, sadece tekil değerlerin bulunduğu S matrisindeki ilk değer üzerinde işlem yapılmıştır. Damganın 0 ya da 1 değerinde olmasına göre yapılan işlemler değişmektedir. Burada güçlü damgalama, kırılğan damgalama ve yarı kırılğan damgalama yapılmak istenmesine göre farklı uygunluk fonksiyonları seçilmiş ve fonksiyonlar sonucunda elde edilen performans ölçülmüştür.

Golshan ve Mohammadi [25] DCT, DWT ve SVD yöntemlerini birleştirerek damgalama yapmışlardır. Ölçek faktörünün bulunması için PSO, saldırı olarak ta Wiener filtresi, Döndürme, Yeniden Ölçeklendirme ve JPEG sıkıştırma saldırılarını kullanmışlar. Kullandıkları uygunluk fonksiyonu F aşağıdaki gibidir. Buradaki ρ ölçek faktörünü göstermektedir. PSNR taşıyıcı görüntü için görünmezliği, NC ise damga resmi için dayanıklılığı göstermektedir.

$$F = PSNR + \rho NC \quad (1.6)$$

Rao vd. [26] de DWT, SVD ve PSO kullanarak ölçek faktörünü bulmaya çalışmıştır. Kullanmış oldukları uygunluk fonksiyonu damgalanmış görüntü ve taşıyıcı görüntü arasındaki CC değeri ile orijinal damga ve saldırı sonrası geri elde edilen damgalar arasındaki CC değerlerinin ortalamasının toplamı şeklindedir. Uygunluk fonksiyonunun en yüksek değeri alması istenmiştir. Değerlendirilmesi yapılan saldırılar Gauss gürültüsü, Yeniden ölçeklendirme, Histogram eşitleme, JPEG sıkıştırma, Kontrast ayarı ve Gamma düzeltmeleridir.

Laha vd. [27] ve Ansari vd. [28] de SVD ve PSO kullanmışlardır. Ansari vd.'nin yaptığı çalışmada farklı olan şey taşıyıcı resmin RGB bir görüntü olması ve damganın farklı şekillerde R, G ve B katmanlarına yerleştirilerek yapılan optimizasyon çalışmalarının değerlendirilmesidir.

Durga vd. [29] önceki çalışmalardan farklı olarak Ateş Böceği optimizasyonu kullanmışlardır. Uygunluk fonksiyonunda ise Yapısal Benzerlik İndeks Ölçümünü kullanmışlardır.

Optimizasyon için en çok kullanılan algoritmalar parçacık sürüsü optimizasyonu [21], [25], [26], [27], [28] ve genetik algoritmalar [22], [23], [24]. Ancak ateşböceği

optimizasyonunun [29], yarasa optimizasyonunun [30], arı optimizasyonunun [31], diferansiyel gelişim algoritmasının[32], bakteriyel avlanma optimizasyonun [33] ve kombinatoriyal optimizasyonun [34] kullanıldığı çalışmalar da vardır.

1.1.4 Ridgelet Dönüşümüyle Damgalama

Ridgelet Dönüşümü, ilk olarak Candes ve Donoho [35] tarafından tanıtılmıştır. Sonrasında ise Do ve Vetterli [36] ayrık ve sonlu boyuttaki görüntüler için ridgelet dönüşümünün ortonormal versiyonunu geliştirmişlerdir. Sonlu Ridgelet Dönüşümü (FRIT) özellikle düz çizgilerin olduğu bölgelerde ayrık dalgacık dönüşümüne göre daha başarılıdır.

Damgalamayla ilgili yapılan araştırmalar sırasında Ayrık Ridgelet Dönüşümüyle damgalama işleminin oldukça az yapıldığı görülmüştür.

Liang vd. [37] ve Liang vd. [38] ikili görüntülerin damgalanması için Sonlu Ridgelet Dönüşümü kullanmışlardır. Hem dayanıklılık hem de görünmezlik kısıtlarını sağlamak için Sadece Fark edilebilir Bozulma (JND) modelini kullanarak ölçek faktörünü belirlemişlerdir. Taşıyıcı görüntü sonlu ridgelet ile alt bandlarına bölünmüş ve her banddaki en etkili katsayılara damga yerleştirilmiştir.

Guo vd. [39] gri seviyeli taşıyıcı görüntüyü bloklara bölmüşler ve her bir bloğa FRIT uygulamışlardır. Eşik değerinin üzerinde olan katsayılar damga gömülme için belirlenmiştir ve bu katsayıların varyansı kullanılarak ağırlık faktörü belirlenmiştir. Ağırlık faktörü her bir blok için farklıdır. Daha düz bölgeler düşük ağırlık faktörüne sahipken, yüksek dokulu blokların ağırlık faktörü yüksek değerlere sahiptir. Ağırlık faktörü aracılığıyla 1 ve -1 değerlerini içeren 4096 adet veri taşıyıcı görüntüye yerleştirilmiştir.

Xie vd. [40] benzer şekilde taşıyıcı görüntüyü öncelikle bloklara bölmüş ve her bir bloğa FRIT uygulayarak bu blokları yüksek doku ve düşük doku miktarı olmak üzere iki bölgeye ayırmıştır. Daha sonrasında 48x48 boyutundaki ikili logo yüksek doku miktarının olduğu bölgeye FRIT kullanılarak damga olarak yerleştirilmiştir.

Li vd. [41] taşıyıcı görüntü doku özelliklerine göre bölgelere ayrılmıştır. Damganın yerleştirileceği bölge seçildikten sonra Sadece Fark edilebilir Bozulma (JND) modeli kullanılarak ölçek faktörü belirlenmiştir. Burada da damga 48x48 boyutunda ikili bir görüntüdür.

Zhu ve Wang [42] Taşıyıcı görüntüye FRIT uygulamışlar ve damganın yerleştirileceği katsayıları seçmek için Laplas Olasılık Dağılım Fonksiyonunu kullanmışlardır. Damga 256x256 boyutunda ikili bir görüntüdür.

Edward vd. [43] taşıyıcı görüntü olarak yüz resmini damga olarak ta iris görüntüsünü seçmişlerdir. Taşıyıcı görüntü bölgelere ayrılmış ve yüksek doku miktarı içeren bölgeye Ayrık Ridgelet Dönüşümü kullanılarak damga yerleştirilmiştir. Yerleştirilen damga toplam 512 bittir ve yerleştirilen veri 1 ve -1 değerlerini içermektedir.

FRIT ile yapılan damgalama çalışmaları incelendiğinde bu çalışmaların hiç birinde çoklu biyometrik veriyle damgalama işlemi yapılmadığı görülmüştür. Ayrıca ölçek faktörünün belirlenmesi için de optimizasyon yöntemleri kullanılmamıştır. Bu nedenle bu tezin bir bölümü bu konuyla ilgili yapılan uygulamalara ayrılmıştır.

1.1.5 Contourlet Dönüşümüyle Damgalama

Contourlet dönüşümü Ridgelet dönüşümünden daha yeni bir dönüşüm olup özellikle kontör ve doku özellikleri yüksek olan görüntülerde kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Çünkü DWT ve FRIT kontör bölgelerini yeterince tanımlayamamaktadır. Bu dönüşüm ile yapılan birçok damgalama çalışması vardır. Bu kısımda bunlardan bazıları özetlenmiştir.

Kumaran ve Thangavel [44] 256x256 boyuttaki taşıyıcı görüntüye 32x32 boyutlarındaki ikili bir logoyu kör damgalama ile yerleştirmişlerdir. Bunun için iki farklı yöntem önermişlerdir. İlk yöntemde 8x8lik bloklar halinde CT uygulanmıştır ve her bir blok için 1 adet damga verisinin yerleştirileceği bitler seçilmiştir. Seçilen bitlerden her biri için çevresinde yer alan 8 adet bitin ortalaması alınır. Yerleştirilecek bit 1 ise bu ortalama değerine 21 sayısı eklenmiştir, eğer 0 ise 21 sayısı çıkartılmıştır. İkinci yöntem olarak ise 32x32lik bloklara CT uygulanmıştır. Sonrasında sıfır ağaç metodu kullanmışlardır. Genetik algoritma ile kullanılacak ağaçlar belirlenmiştir. Eğer damga verisi 1 ise katsayı 21, damga verisi 0 ise katsayı değeri -21 olmuştur. JPEG sıkıştırma, ortalama filtresi ve alçak geçiren filtre saldırıları uygulanmıştır. Sıfır ağaç metodunun daha başarılı olduğu görülmüştür.

Yong vd. [45] CT dönüşümünü kullanarak yaptığı çalışmada 512x512 boyutlarındaki gri seviyeli taşıyıcı görüntülere 64x64 boyutlarında gri seviyeli damgayı 2 defa yerleştirmişlerdir. Bunun için taşıyıcı görüntünün 3. Seviye CT katsayıları bulunmuştur.

Düşük frekanslı katsayılar SVD metodu ile bileşenlerine ayrılmıştır. Tekil değerler matrisine damga değerleri eklenmiştir. Damganın ikinci olarak yerleştirildiği yer ise yüksek frekanslı bölgedir. Damga görüntüsü düşük bir katsayı (0.08) ile çarpılarak taşıyıcının katsayılarıyla toplanmıştır. Her iki damga geri elde edildikten sonra gerçek damga ile karşılaştırılarak hangisi daha iyi sonuç verdiyse o damga geri elde edilen damga sayılmıştır. Ancak gerçekte zaten damganın ne olduğunu bilmeyeceğimiz için bu yöntem çok ta kullanışlı olmayabilir.

Zhang vd.[46] ,Yong vd.[45] nin yaptığı çalışmaya çok benzer bir çalışma yapmıştır. 512x512 boyutlarındaki gri seviyeli taşıyıcı görüntülere 64x64 boyutlarında gri seviyeli damgayı 2 defa yerleştirmişlerdir. 3. Seviye CT katsayıları bulunmuştur. Düşük frekanslı katsayılar SVD metodu ile bileşenlerine ayrılmıştır. Tekil değerler matrisine damga değerleri belli bir katsayıyla çarpılarak eklenmiştir. Damganın ikinci olarak yerleştirildiği yer ise yüksek frekanslı bölgedir. Damga görüntüsü bir katsayı ile çarpılarak taşıyıcının katsayılarıyla toplanmıştır. Her iki damga geri elde edildikten sonra gerçek damga ile karşılaştırılarak hangisi daha iyi sonuç verdiyse o damga geri elde edilen damga sayılmıştır. Ancak gerçekte zaten damganın ne olduğunu bilmeyeceğimiz için bu yöntem çok ta kullanışlı olmayabilir.

Kumar vd. [47] 512x512lik taşıyıcı içine 64x64lük bir damga yerleştirmişlerdir. Her iki görüntü de gri seviyelidir. Taşıyıcı görüntünün dördüncü seviyeden CT katsayıları bulunmuştur i0ve 15. Yönlü banda damga yerleştirilmiştir. 15. yönlü band ve damga 8x8lik bloklara ayrılmıştır. Taşıyıcı görüntüye ait bloklar ile damga görüntüsüne ait bloklar arasındaki benzerlikler ölçülmüştür ve damgaya ait her bir blok kendisine en çok benzeyen taşıyıcı bloğa gömülmüştür. Bunun için bir ölçek faktörü kullanılmıştır. Tuz biber gürültüsü, benek gürültüsü, Poisson gürültüsü, JPEG sıkıştırma, kesme saldırıları uygulanarak performansı ölçülmüştür.

Kaviani vd.[48] 512x512lik taşıyıcı görüntüye 16x16lık ikili logoyu çoklu olarak yerleştirmişlerdir. Bunun için taşıyıcı görüntüye CT uygulamışlardır. Sonrasında ise her bir yüksek frekanslı bileşeni 4. eşit parçaya bölmüşlerdir. Her bir parçayı da SVD ile tekil değerlerine ayırmışlar ve tekil değerler üzerinde damgayı yerleştirmişlerdir. Bunun için tekil değer sayısının damgaya eşit ya da daha büyük olması gerekir. Damgalamanın performansı tuz biber gürültüsü, gauss gürültüsü, JPEG sıkıştırma, yeniden ölçeklendirme ve ortalama filtresi ile ölçülmüştür.

Duong ve Duong [49] CT ve Niceleme Index Modülasyonu (QIM) kullanarak 512x512 lik taşıyıcı görüntülere, taşıyıcı görüntü üzerinde fazla bir bozulma meydana gelmeden yüksek miktarda ikili veri saklamayı hedeflemişlerdir. Taşıyıcı görüntünün CT katsayılarını elde ettikten sonra her bir bandın enerjisini yüksekte düşüğe doğru sıralamışlardır. En yüksek enerjiye sahip bandın en yüksek 3 adet katsayısını damga saklamak için kullanmışlardır. Damga sakladıktan sonra PSNR değerini ölçmüşlerdir. Eşik değerinin altına düşüyse damgalama sonlandırılmıştır eğer hala eşikten yüksekse sıradaki en yüksek enerjili banda veri saklanmıştır.

Zhu ve Tong [50] , CT ile 512x512lik taşıyıcı görüntüye 16x16lık ikili görüntü saklamışlardır. Damga görüntüsü Arnold dönüşümü ile öncelikle şifrelenmiştir. Taşıyıcı görüntü de bir takım işlemlerden geçirilerek normalize edilmiştir. Taşıyıcı görüntüye ait bölgesel değişmeyen centroid yöntemiyle önemli bölge belirlendikten sonra bu bölgeye 2. derece CT uygulanmıştır. Yerleştirilecek damga verisinin 1 ya da 0 olmasına göre ilgili katsayı değiştirilerek yeni bir değer almıştır.

Kishore Kumar ve Sheeba [51] 512x512lik parmak izi görüntüsüne 64x256 boyutlarında ikili değerlere sahip iris kodu yerleştirmişlerdir. Iris kodu ön işlemlerden geçirilerek kare görüntüye çevrilmiş sonrasında Arnold dönüşümü ile şifrelenmiştir. Taşıyıcı görüntüye 2. dereceden CT uygulanmış ve en yüksek enerjili alt band damga yerleştirilmesi için seçilmiştir. CT katsayılarının işaretlerine ve yerleştirilecek damgaya ait bitin 1 ya da 0 olmasına göre CT katsayıları değiştirilerek damga yerleştirilmiştir. Tuz biber gürültüsü, gauss gürültüsü ve benek gürültüsü için performansına bakılmıştır.

1.2 Tezin Amacı

Tezin amacı; RGB taşıyıcı görüntü içerisine çoklu sayıda biyometrik verinin saklanması için kullanılabilecek yöntemlerin araştırılması, hem damgalama yöntemi, hem optimizasyon yöntemi, hem de uygunluk fonksiyonu açısından en uygun yöntemlerin belirlenmesidir.

1.3 Orijinal Katkı

Yapılan literatür araştırmalarında bir çok farklı damgalama yöntemi ve bir çok optimizasyon yöntemi incelenmiştir. Aşağıda tespit edilen eksiklikleri gidermeye yönelik çalışmalar yapılmıştır.

- Çoklu biyometrik damgalama içeren çok az sayıda örnek görülmüştür ve bu örneklerde de 3 adet biyometrik veri kullanılmamıştır. Bu tezde avuç içi [50], iris [53] ve kulak[54] biyometrik verileri kullanılmıştır.
- Damgalama işlemleri çoğunlukla gri seviyeli görüntülere yapılmıştır bu nedenle yapılan optimizasyon çalışmaları genellikle tek boyutlu optimizasyon içermektedir. Bu çalışmada ise 2 farklı 3B optimizasyon çalışması yapılmıştır.
- Kullanılan optimizasyon yöntemleri iteratif yöntemlerdir. Bu tezde farklı olarak analitik yöntemlerden polinomsal yaklaşıklık da kullanılmıştır.
- FRIT dönüşümüyle yapılan çalışmalar oldukça kısıtlıdır. Çoklu damgalama içermemektedir ve renkli görüntüler kullanılmamıştır. Bu tezde FRIT ile renkli görüntülere çoklu damgalama yapılmıştır.
- CT dönüşümüyle yüksek miktarda çalışma vardır. Ancak incelenen çalışmalarda damga olarak genellikle ikili görüntüler kullanılmıştır. Bu çalışmada gri seviyeli görüntüler kullanılmıştır.
- İncelenen çalışmalarda genellikle tek bir uygunluk fonksiyonu kullanılmıştır. Bu tezin ilk bölümünde ise hem iteratif optimizasyon hem de analitik optimizasyon yöntemler aracılığıyla 5 farklı uygunluk fonksiyonu kullanılarak karşılaştırmaları yapılmıştır.

BÖLÜM 2

TEKİL DEĞER AYRIŞIMI İLE DAMGALAMA

Bu bölümde üç adet biyometrik verinin RGB taşıyıcı görüntü içerisine saklanması amacıyla uzaysal dönüşümlerden olan Tekil Değer Dönüşümüyle ilgili yapılan çalışmalar anlatılmıştır. Bunun için öncelikle Tekil Değer Dönüşümü kavramı özetlenmiştir. SVD yöntemi kullanılarak başlangıçta üç farklı uygulama yapılarak, damgaların taşıyıcı görüntü içerisinde hangi bölgelere gizlenmesi gerektiği ve hangi yapıda bir fonksiyon ile gizlenebileceği belirlenmiştir. Sonrasında ise ölçek faktörü değiştirilerek yapılan uygulamalar tekrarlanmış ve ölçek faktörünün, çoklu biyometrik veri damgalamadaki başarısını doğrudan etkilediği görülmüştür. Bu nedenle ölçek faktörünün optimizasyonu gerekmiştir. Optimizasyon yöntemi olarak iki farklı üç boyutlu iteratif optimizasyon yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemler Parçacık Sürü Optimizasyonu ve Spiral Optimizasyondur. Böylelikle üç kanala ait ölçek faktörleri aynı anda birbirleriyle ilişkili olarak bulunmuştur. Bunlara ek olarak her bir kanal için ayrı ayrı birbirinden bağımsız olarak doğru ölçek faktörünü seçmek için polinomsal yaklaşıklık ile modelleme yapılmıştır. Bu yöntemlerle elde edilen sonuçlar bu bölümde anlatılmıştır. Özellikle farklı uygunluk fonksiyonlarının sonuçlar üzerindeki etkileri tartışılmıştır. Sonuç olarak güçlü damgalama yöntemi olarak kullanılabileceği görülmüştür.

2.1 Tekil Değer Ayrışımı

Reel sayılar kümesindeki $m \times n$ boyutundaki bir A matrisi $A \in \mathbb{R}^{m \times n}$, $m \times m$ boyutundaki ortogonal bir U matrisi $U \in \mathbb{R}^{m \times m}$ ve $n \times n$ boyutundaki bir V matrisi $V \in \mathbb{R}^{n \times n}$ ile $m \times n$

boyutundaki köşegen bir S matrisi $V \in \mathbb{R}^{n \times n}$ 'nin çarpımı şeklinde yazılabilir. (Eşitlik 2.1 ve 2.2)

$$A = U_{m \times m} S_{m \times n} V_{n \times n}^T = (\text{ortogonal})(\text{köşegen})(\text{ortogonal}) \quad (2.1)$$

$$A = \begin{bmatrix} u_{11} & \dots & u_{1m} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ \vdots & \dots & \vdots \\ u_{m1} & \dots & u_{mm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \sigma_2 & \dots & \vdots \\ & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & \sigma_{mn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{11} & \dots & v_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{n1} & \dots & v_{nn} \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

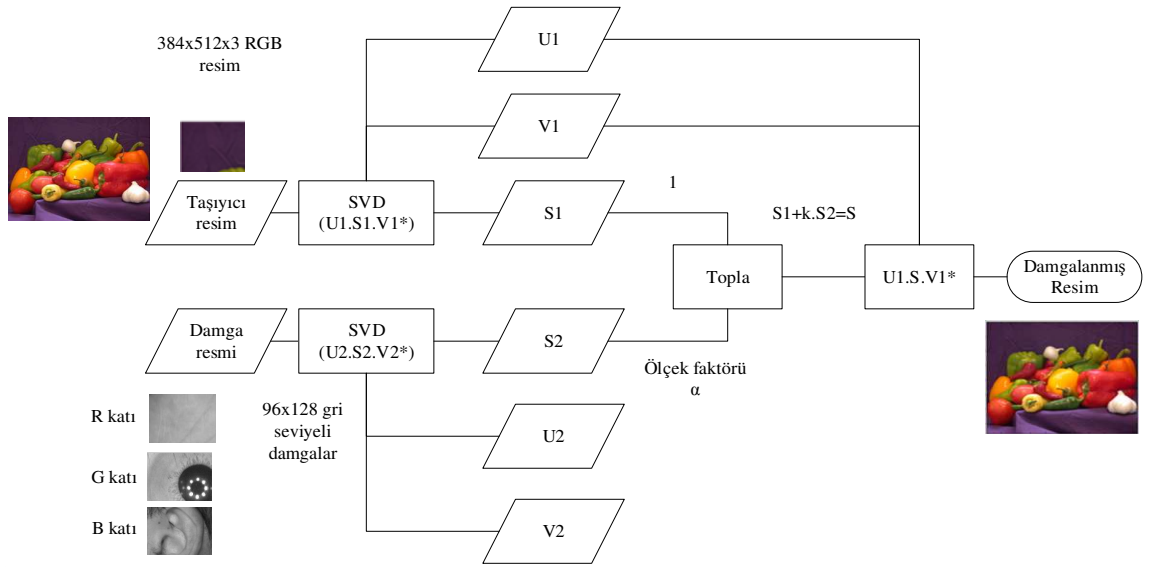
U ve V matrisleri sırasıyla AA^T ve $A^T A$ matrislerinin öz vektörleridir. SS^T ve $S^T S$ köşegen matrisleri, sırasıyla AA^T ve $A^T A$ matrislerinin öz değerlerinden oluşmaktadır.

2.2 Tekil Değer Ayrışımı ile Damgalama

SVD yöntemiyle yapılan damgalama temel olarak; hem taşıyıcı görüntünün hem de damga görüntüsünün SVD yöntemiyle USV bileşenlerine ayrılması ve S bileşenlerinin farklı katsayılarıyla toplanmasını içermektedir.

SVD yöntemi kullanılarak üç farklı çalışma yapılmıştır. İlk olarak damga görüntüsü taşıyıcı görüntünün sol üst köşesine yerleştirilmiştir. (Şekil 2. 1) Taşıyıcı için katsayı olarak 1 sabit olarak kullanılırken, damga görüntüsü için α ölçek faktörü kullanılmıştır. Bu uygulamada R, G ve B bileşenleri için aynı ölçek faktörü kullanılmıştır.

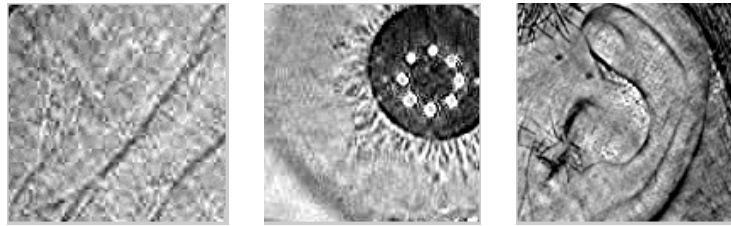
Ölçek faktörü değiştirilerek damgalanmış görüntü ile taşıyıcı görüntü arasındaki PSNR değeri incelenmiştir. α değeri küçük iken PSNR değeri oldukça yüksek çıkmış ancak α değeri büyüdükçe PSNR değeri düşmüştür ve damgalanmış görüntünün sol üst köşesindeki bozulma oldukça belirgin hale gelmiştir. Aynı katsayılar kullanılarak tuz biber (yoğunluk=0,002) gürültüsü için damga verisinin ilk hali ile saldırı sonrası elde edilen hali kıyaslanarak korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. $\alpha = 0,1$ iken geri elde edilen damga verileri Şekil 2. 3'teki gibidir.



Şekil 2. 1 Taşıyıcı görüntünün sol üst köşesinde SVD ile yapılan damgalama



Şekil 2. 2 Taşıyıcı görüntüde meydana gelen bozulma

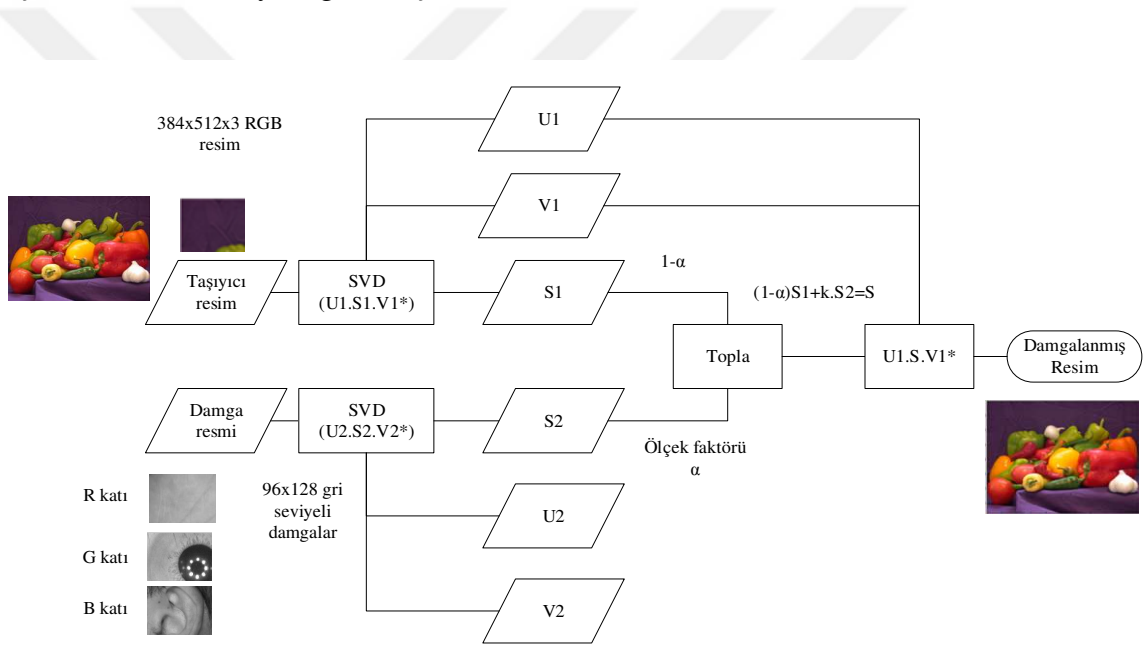


Şekil 2. 3 Tuz biber saldırısı sonrasında geri elde edilen damgalar

Bu yöntemde damga verisi taşıyıcı görüntüden daha az piksel sayısına sahip olduğu için damga verisi taşıyıcı görüntünün sadece bir bölgesine yerleştirilmiştir. Bu nedenle taşıyıcı görüntüdeki yeri belli bir katsayı sonrasında belli olmaktadır. Tuz biber gürültüsü saldırısı açısından bu yöntemi incelersek eğer ölçek faktörü (α) değeri arttıkça

damga görüntüsünün orijinal hali ile saldırılar sonucunda elde edilen hali arasındaki korelasyon katsayısı artmaktadır. Eğer taşıyıcı görüntüdeki bozulma engellenebilirse bu yöntem kullanılabilir. Bu nedenle daha sonraki yöntemlerde damga verisinin taşıyıcı görüntünün bütününe yayılması konusunda çalışılmıştır.

İkinci çalışmada, ilk yöntemden farklı olarak taşıyıcı görüntüdeki bozulmayı azaltmak için taşıyıcı için $(1-\alpha)$ katsayısı ve damga görüntüsü için α katsayısı kullanılmıştır. (Şekil 2. 4) Ayrıca damga görüntüsü taşıyıcı görüntüyle birleştirilerek yeni oluşturulan görüntü damga olarak kullanılmıştır. Böylelikle damgalanmış görüntünün sol üst bölgesinde daha önce görülmekte olan bozulma engellenmiştir. Bu yöntem tuz biber gürültüsü saldırısı sonucunda yüksek performans göstermiştir, ayrıca resmin sol üst köşesindeki bozulmayı engellemiştir.



Şekil 2. 4 Taşıyıcı katsayısı değiştirilerek taşıyıcı resmin sol üst köşesinde SVD ile yapılan damgalama

Bu yöntemle hesaplanan PSNR değerlerinin bir önceki yöntemden yüksek olduğu görülmüştür. α değeri oldukça yükseltilmesine rağmen damgalanmış görüntüde damga belli olmamaktadır. Aynı katsayılar kullanılarak tuz biber gürültüsü için damga verisinin ilk hali ile saldırı sonrası elde edilen hali kıyaslanarak korelasyon katsayıları CC hesaplanmıştır. Burada hesaplanan değerlerin de bir önceki yöntemden yüksek olduğu görülmüştür. İkinci uygulama yüksek performans göstermesine rağmen damgalanmış resmin sol üst köşesinde olan herhangi bir saldırıda R-G-B katlarına

yerleştirilen 3 biyometrik verinin aynı anda zarar görme ihtimali vardır. Bu nedenle damga görüntülerinin yerleri değiştirilerek uygulama yapılmıştır (Şekil 2. 5).

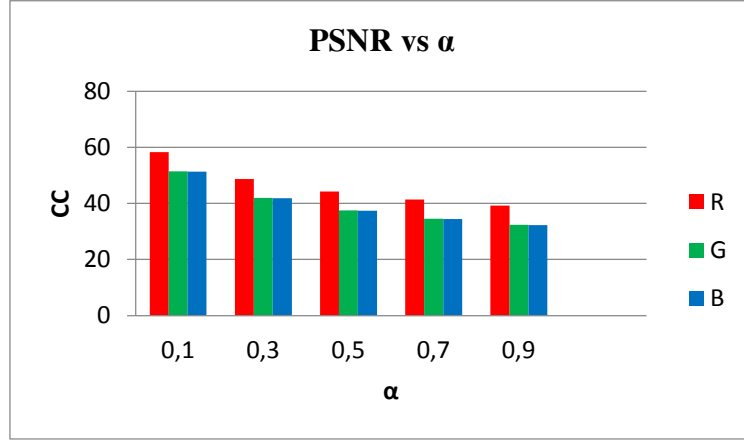


Şekil 2. 5 Damga görüntülerinin taşıyıcı görüntünün farklı bölgelerine yerleştirilişi

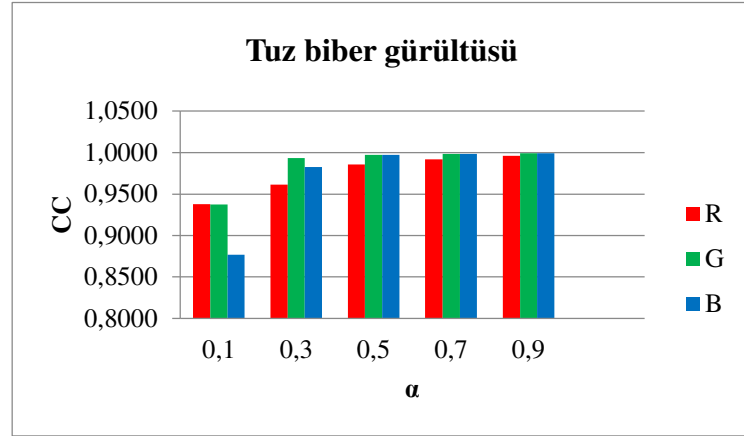
Damga verisi farklı yerlere konularak hem taşıyıcı görüntüdeki bölgesel bozulmanın engellenmesi hem de taşıyıcı görüntünün tek bir bölgesine saldırı olması durumunda en azından diğer 2 damga verisini doğru elde etmek amaçlanmıştır. Bu yöntemin en uygun yöntem olduğuna karar verilerek çalışmalara bu yöntemle devam edilmiştir. Bu ve bundan sonraki uygulamalarda taşıyıcı görüntü olarak Lenna kullanılmıştır.

Farklı α ölçek faktörleriyle taşıyıcı görüntüdeki bozulmanın etkisine ve farklı tipteki saldırılar sonucundaki performansa bakılmıştır. Testler sonucunda aşağıdaki grafikler elde edilmiştir. Şekil 2. 6 değişen ölçek faktörleri ve taşıyıcı görüntüde görülen bozulma arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Çeşitli saldırılar sonucunda elde edilen korelasyon katsayısı değerleri ise Şekil 2. 7 – Şekil 2. 15’te görülmektedir. Elde edilen grafiklere göre farklı saldırılar için CC’nin α ile doğru orantılı olduğu görülmüştür.

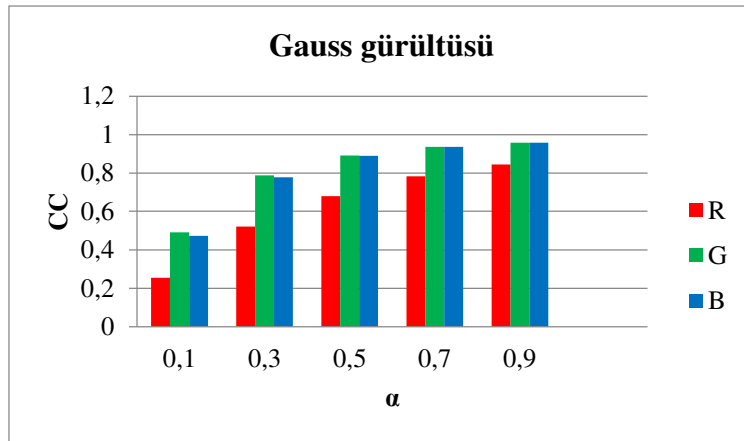
Yapılan çalışmalar sonucunda yüksek PSNR için düşük bir α değeri seçilmesi, yüksek CC değeri içinse yüksek bir α değeri seçilmesi gerektiği görülmüştür. Bu değerlerin bulunması için çeşitli uygunluk fonksiyonları kullanılarak optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. Optimizasyon çalışmalarını resmin R, G ve B bileşenleri için kullanılacak katsayıların aynı anda bulunduğu 3 boyutlu optimizasyon çalışmaları ve R, G ve B bileşenlerinin ayrı ayrı bulunduğu optimizasyon çalışmaları olarak iki kısma ayırabiliriz.



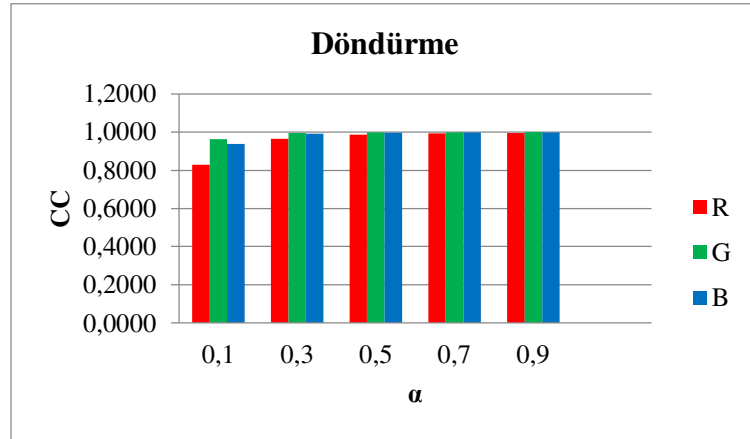
Şekil 2. 6 PSNR ve α arasındaki ilişki



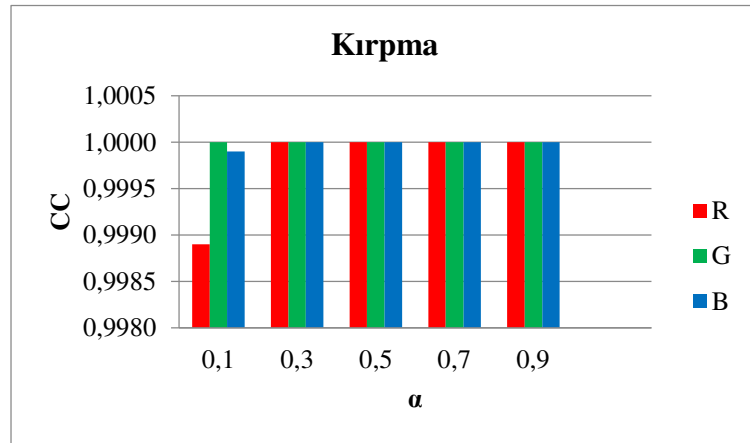
Şekil 2. 7 Tuz Biber gürültüsü ($d=0,002$) ve α arasındaki ilişki



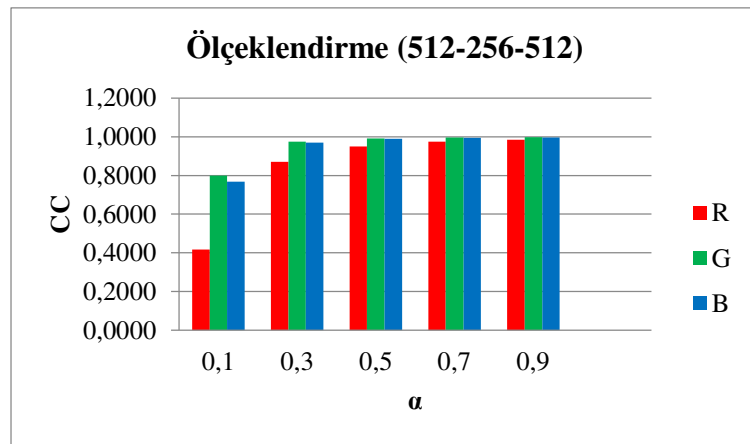
Şekil 2. 8 Gauss gürültüsü (ortalama=0, varyans=0,01) ve α arasındaki ilişki



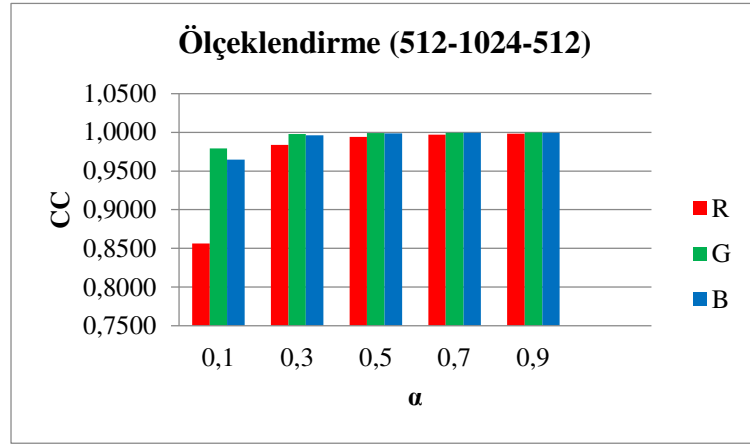
Şekil 2. 9 Döndürme (-1 derece) ve α arasındaki ilişki



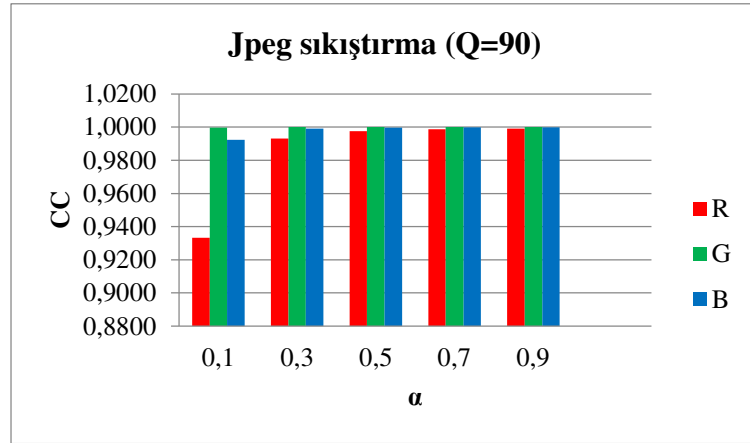
Şekil 2. 10 Kırpma(her yönden 20 piksel) ve α arasındaki ilişki



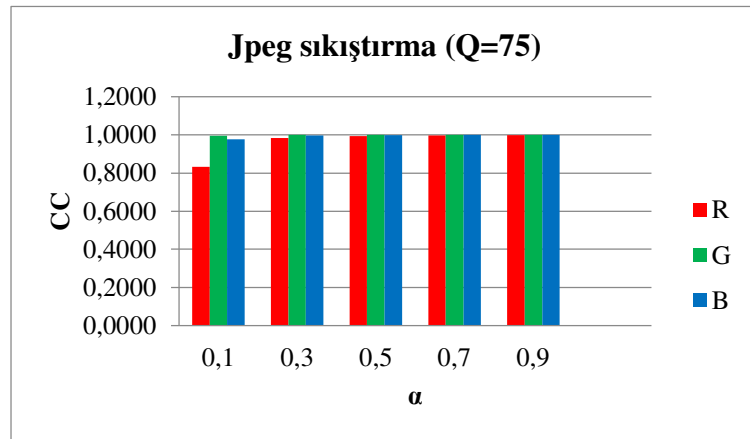
Şekil 2. 11 Yeniden ölçeklendirme (512-256-512) ve α arasındaki ilişki



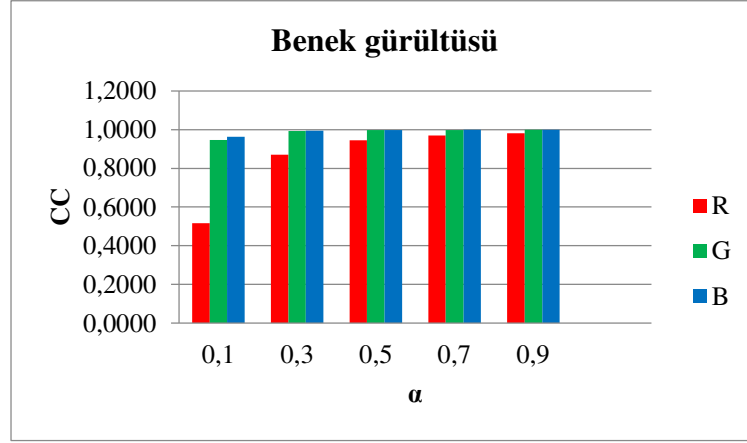
Şekil 2. 12 Yeniden ölçeklendirme (512-1024-512) ve α arasındaki ilişki



Şekil 2. 13 Jpeg sıkıştırma (Q=90) ve α arasındaki ilişki



Şekil 2. 14 Jpeg sıkıştırma(Q=75) ve α arasındaki ilişki



Şekil 2. 15 Benek gürültüsü ($d=0,004$) ve α arasındaki ilişki

2.3 Üç Boyutlu (3B) Optimizasyon Çalışmaları

Üç boyutlu optimizasyon için kullanılan uygunluk fonksiyonu Eşitlik 2.3'teki gibi belirlenmiştir. Bu eşitlikteki ilk terim damgalamanın saldırılara karşı dayanıklılığını, ikinci terim ise damganın görünmezliğini belirtmektedir.

$$F_{RGB} = \frac{N}{\sum_{I=1}^N CC_{RGB,i,damga}} - CC_{RGB,tasiyici} \quad (2.3)$$

$CC_{RGB,i,damga}$ damga içeren R, G ve B katmanlarına yapılan çeşitli saldırılar sonucunda geri elde edilen damgaların, damgaların ilk haliyle yapılan korelasyonundan elde edilen değerlerin ortalamasıdır. Eşitlik 2.4.'e göre hesaplanır.

$$CC_{RGB,i,damga} = \frac{CC_{R,i,damga} + CC_{G,i,damga} + CC_{B,i,damga}}{3} \quad (2.4)$$

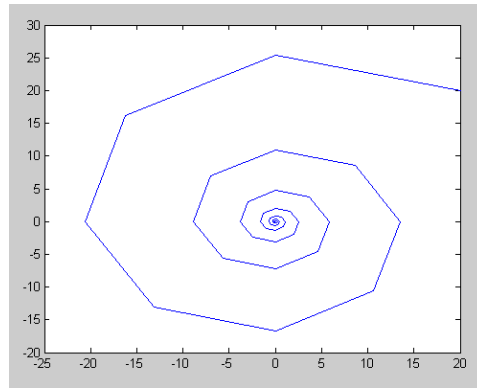
$CC_{RGB,tasiyici}$ ise damgalanmış RGB görüntünün ve taşıyıcı RGB görüntünün gri seviyeli görüntülere dönüştürüldükten sonra aralarındaki korelasyon katsayısının hesaplanmasıyla bulunur. I_1 ve I_2 arasındaki korelasyon değeri Eşitlik 2.5'e göre hesaplanır.

$$CC = \frac{\sum_i \sum_j (I_1(i, j) - I_{1,ort.})(I_2(i, j) - I_{2,ort.})}{\sqrt{\left(\sum_i \sum_j (I_1(i, j) - I_{1,ort.})^2 \right) \left(\sum_i \sum_j (I_2(i, j) - I_{2,ort.})^2 \right)}} \quad (2.5)$$

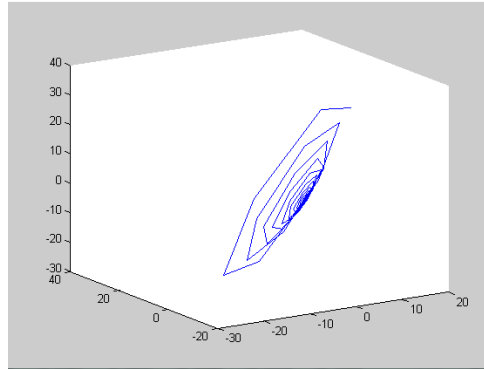
Eşitlik 2.3, 2.4 ve 2.5’te yer alan fonksiyonlar kullanılarak 2 farklı iteratif optimizasyon yöntemiyle ölçek faktörü α bulunmaya çalışılmıştır.

2.3.1 Üç Boyutlu Spiral Optimizasyon

Spiral Optimizasyon ilk olarak Tamura ve Yasuda [55],[56] tarafından oluşturulmuş çoklu nokta arama için kullanılan iteratif bir yöntemdir. Bu yöntemde doğadaki hortum olayından esinlenilmiştir. Aşağıdaki görüntülerde 2 boyutlu ve 3 boyutlu spiraller gözükmemektedir (Şekil 2. 16 ve Şekil 2. 17).



Şekil 2. 16 $r = 0,9$ ve $\theta = \frac{\Pi}{4}$ değerlerine sahip iki boyutlu spiralin hareketi



Şekil 2. 17 $r = 0,9$ ve $\theta = \frac{\Pi}{4}$ değerlerine sahip üç boyutlu spiralin hareketi

Burada r , spiralin yarıçapını; θ spiralin rotasyon açısını ifade etmektedir. Spiral modeli $X_i(0) \in \mathcal{R}^n$ başlangıç konumunda başlar ve spiralin merkezine doğru yakınsayarak ilerler.

N boyutlu spiral için algoritma aşağıdaki gibidir.

- Adım 0: Hazırlık

Hazırlık aşamasında başlangıç noktalarının sayısı ($m \geq 2$), rotasyon açısı ($0 < \theta < 2\pi$), spiralin yarıçapı ($0 < r < 1$) ve iterasyon sayısı $k_{\max}$ belirlenir. $k=0$ olarak ilk değerini alır.

- Adım 1: Başlangıç

$k=0$ için m adet arama noktalarının n boyutlu başlangıç değerleri belirlenir.

$$X_i(0) \in \mathbb{R}^n, i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (2.6)$$

Başlangıç noktaları için uygunluk fonksiyonu hesaplanır (Eşitlik 2.7) ve uygunluk fonksiyonunda en düşük değeri veren nokta yani $X_{ig}(0)$, merkez nokta X^* olarak belirlenir (Eşitlik 2.8)

$$X^* = X_{ig}(0) \quad (2.7)$$

$$i_g = \arg \min f(X_i(0)), i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (2.8)$$

- Adım 2: Arama noktalarının güncellenmesi

Bütün arama noktaları Eşitlik 2.9'daki gibi rotasyon matrisi $S_n(r, \theta)$ ve merkez nokta X^* kullanılarak güncellenir.

$$X_i(k+1) = S_n(r, \theta)X_i(k) - (S_n(r, \theta) - I_n)X^*, i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (2.9)$$

$$S_n(r, \theta) = r.R(\theta) \quad (2.10)$$

$$R(\theta) = \prod_{i=1}^{n-1} \left(\prod_{j=1}^i R_{n-i, n+1-j}(\theta) \right) \quad (2.11)$$

$R_{ij}(\theta)$ rotasyon matrisi n boyutlu bir spiral için $n \times n$ boyutundadır. Bu matriste (i, i) ve (j, j) elemanları $\cos(\theta)$, (i, j) elemanı $\sin(\theta)$ ve (j, i) elemanı $-\sin(\theta)$ 'dir. Bunun dışında köşegen üzerinde yer alan bütün elemanlar 1'dir ve boş olarak gözüken bütün elemanlar da 0'dır.

$$R_{ij}(\theta) = \begin{pmatrix} 1 & & & & \\ & \ddots & & & \\ & & 1 & & \\ i & & \cos(\theta) & & \sin(\theta) \\ & & & 1 & \\ & & & & \ddots \\ j & & -\sin(\theta) & & \cos(\theta) \\ & & & & & 1 \\ & & & & & & \ddots \\ & & & & & & & 1 \end{pmatrix} \quad (2.12)$$

- Adım 3: Merkez noktanın güncellenmesi

$$X^*(k+1) = X_{ig}(k+1), i_g = \arg \min f(X_i(k+1)), i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (2.13)$$

Merkez nokta bir önceki adımda güncellenen noktalardan ve uygunluk fonksiyonundan yararlanılarak güncellenir.

- Adım 4: Sonlandırma kriterinin kontrolü

Eğer $k=k_{\max}$ maksimum değerine ulaştıysa iterasyon sonlandırılır. Eğer maksimum değere ulaşmadıysa k değeri bir artırılır ($k = k + 1$) ve Adım 2'ye geri dönülür.

Burada yapılan uygulamada spiral optimizasyon için başlangıç koşulları aşağıdaki gibi belirlenmiştir ve optimizasyon işlemi 5 kere tekrarlanmıştır.

- Arama yapılacak nokta sayısı $m=20$

- Rotasyon açısı $\frac{\Pi}{4} < \theta_i < 2\Pi$

- Spiral açısı $0,9 < r_i < 1$

- İterasyon sayısı $k_{\max} = 20$

Bulunan sonuçlar Çizelge 2. 1 - Çizelge 2. 5'te verilmiştir. Çizelgelerde yer alan CC(R) değeri, R katmanına yerleştirilen avuç içi görüntüsü için, ilk damga ve saldırılar

sonucunda geri elde edilen damga arasında hesaplanan korelasyon değerlerini gösterir. Benzer şekilde, çizelgelerde yer alan $CC(G)$ değeri, G katmanına yerleştirilen iris görüntüsü için ilk damga ve saldırılar sonucunda geri elde edilen damga arasında hesaplanan korelasyon değerlerini; $CC(B)$ değeri, B katmanına yerleştirilen kulak görüntüsü için, ilk damga ve saldırılar sonucunda geri elde edilen damga arasında hesaplanan korelasyon değerlerini gösterir.

izelgelerin alt kısmında yer alan PSNR ve CC değerleri de, R , G ve B kanalları için taşıyıcı görüntü ile damgalanmış görüntü arasında hesaplanmış olan değerlerdir.



Çizelge 2. 1 Birinci optimizasyon sonuçları (SPO)

SALDIRI	CC(R)	CC(G)	CC(B)	ORT.
Tuz biber gürültüsü (d=0,002)	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994
Gauss gürültüsü (d=0,01)	0,9776	0,9765	0,9857	0,9799
Döndürme (-1 derece)	0,9995	0,9998	0,9994	0,9996
Kırpma (Her taraftan 20 piksel)	0,9994	0,9999	0,9998	0,9997
Yeniden ölçeklendirme (512-256-512)	0,9985	0,9987	0,9987	0,9987
Yeniden ölçeklendirme (512-1024-512)	0,9998	0,9999	0,9996	0,9997
JPEG sıkıştırma (Q=%75)	0,9998	1,0000	0,9996	0,9998
JPEG sıkıştırma (Q=%90)	0,9999	1,0000	0,9997	0,9998
Benek gürültüsü (d=0,004)	0,9977	0,9995	0,9995	0,9989
ORTALAMA	0,9971	0,9979	0,9973	0,9974

Bileşen	PSNR	CC
R	29,2595	0,9941
G	29,5723	0,9971
B	26,9888	0,9798
RGB	24,4468	0,9976

Çizelge 2. 2 İkinci optimizasyon sonuçları (SPO)

SALDIRI	CC(R)	CC(G)	CC(B)	ORT.
Tuz biber gürültüsü (d=0,002)	0,9994	0,9997	0,9996	0,9996
Gauss gürültüsü (d=0,01)	0,9811	0,9795	0,9808	0,9804
Döndürme (-1 derece)	0,9996	0,9996	0,9995	0,9996
Kırpma (Her taraftan 20 piksel)	0,9999	1,0000	1,0000	0,9999
Yeniden ölçeklendirme (512-256-512)	0,9987	0,9988	0,9986	0,9987
Yeniden ölçeklendirme (512-1024-512)	0,9998	0,9998	0,9998	0,9998
JPEG sıkıştırma (Q=%75)	0,9998	0,9999	0,9999	0,9999
JPEG sıkıştırma (Q=%90)	0,9999	1,0000	0,9999	0,9999
Benek gürültüsü (d=0,004)	0,9980	0,9997	0,9997	0,9991
ORTALAMA	0,9974	0,9975	0,9974	0,9973

Bileşen	PSNR	CC
R	28,4883	0,9931
G	28,4501	0,9936
B	28,4209	0,9852
RGB	28,4530	0,9976

Çizelge 2. 3 Üçüncü optimizasyon sonuçları (SPO)

SALDIRI	CC(R)	CC(G)	CC(B)	ORT.
Tuz biber gürültüsü (d=0,002)	0,9994	0,9993	0,9993	0,9993
Gauss gürültüsü (d=0,01)	0,9747	0,9691	0,9874	0,9771
Döndürme (-1 derece)	0,9995	0,9997	0,9993	0,9995
Kırpma (Her taraftan 20 piksel)	1,0000	1,0000	0,9995	0,9998
Yeniden ölçeklendirme (512-256-512)	0,9982	0,9982	0,9987	0,9984
Yeniden ölçeklendirme (512-1024-512)	0,9998	0,9998	0,9994	0,9997
JPEG sıkıştırma (Q=%75)	0,9998	1,0000	0,9994	0,9997
JPEG sıkıştırma (Q=%90)	0,9999	1,0000	0,9995	0,9998
Benek gürültüsü (d=0,004)	0,9974	0,9993	0,9993	0,9987
ORTALAMA	0,9962	0,9980	0,9969	0,9973

Bileşen	PSNR	CC
R	29,9168	0,9949
G	30,8816	0,9978
B	26,2295	0,9762
RGB	28,5200	0,998

Çizelge 2. 4 Dördüncü optimizasyon sonuçları (SPO)

SALDIRI	CC(R)	CC(G)	CC(B)	ORT.
Tuz biber gürültüsü (d=0,002)	0,9993	0,9994	0,9988	0,9992
Gauss gürültüsü (d=0,01)	0,9771	0,9701	0,9896	0,9789
Döndürme (-1 derece)	0,9995	0,9997	0,9990	0,9994
Kırpma (Her taraftan 20 piksel)	0,9999	1,0000	0,9990	0,9997
Yeniden ölçeklendirme (512-256-512)	0,9985	0,9983	0,9985	0,9994
Yeniden ölçeklendirme (512-1024-512)	0,9998	0,9998	0,9990	0,9995
JPEG sıkıştırma (Q=%75)	0,9998	1,0000	0,9990	0,9996
JPEG sıkıştırma (Q=%90)	0,9999	1,0000	0,9990	0,9996
Benek gürültüsü (d=0,004)	0,9977	0,9993	0,9989	0,9986
ORTALAMA	0,9963	0,9979	0,9971	0,9973

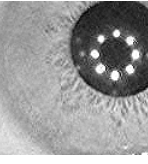
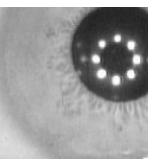
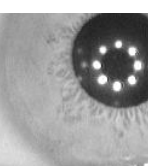
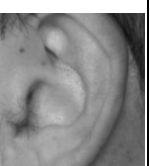
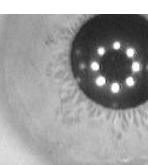
Bileşen	PSNR	CC
R	29,3228	0,9942
G	30,7099	0,9977
B	25,0516	0,9694
RGB	28,1437	0,9979

Çizelge 2. 5 Beşinci optimizasyon sonuçları (SPO)

SALDIRI	CC(R)	CC(G)	CC(B)	ORT.
Tuz biber gürültüsü (d=0,002)	0,9993	0,9995	0,9994	0,9994
Gauss gürültüsü (d=0,01)	0,9756	0,9747	0,9848	0,9784
Döndürme (-1 derece)	0,9995	0,9997	0,9994	0,9995
Kırpma (Her taraftan 20 piksel)	1,0000	1,0000	0,9998	0,9999
Yeniden ölçeklendirme (512-256-512)	0,9983	0,9986	0,9988	0,9985
Yeniden ölçeklendirme (512-1024-512)	0,9998	0,9999	0,9996	0,9998
JPEG sıkıştırma (Q=%75)	0,9998	1,0000	0,9997	0,9998
JPEG sıkıştırma (Q=%90)	0,9999	1,0000	0,9997	0,9999
Benek gürültüsü (d=0,004)	0,9977	0,9994	0,9995	0,9988
ORTALAMA	0,9969	0,9979	0,9971	0,9973

Bileşen	PSNR	CC
R	29,7034	0,9947
G	29,9137	0,9973
B	27,2393	0,9809
RGB	28,7733	0,9978

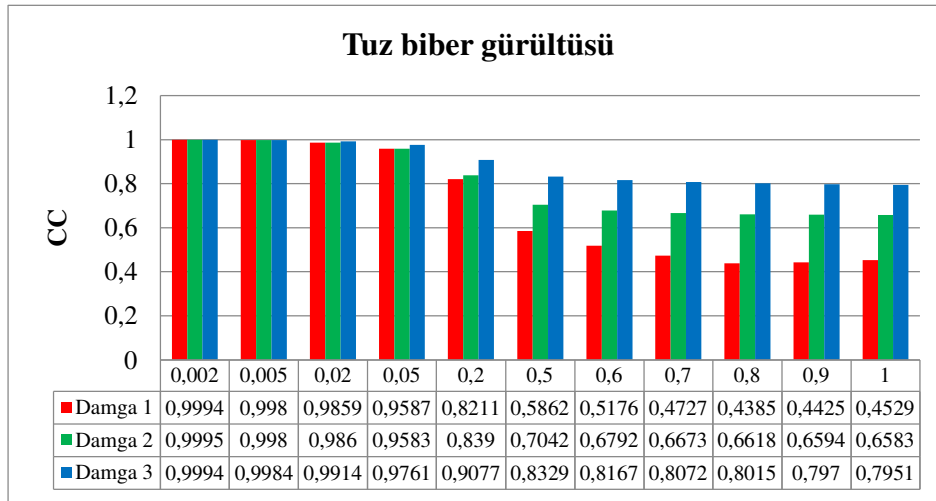
Çizelge 2. 6 Saldırıları sonrasında geri elde edilen damgalar

Uygulanan Saldırı	Damga 1	Damga 2	Damga 3
Tuz biber gürültüsü (d=0,002)			
Gauss gürültüsü (d=0,01)			
Döndürme (-1 derece)			
Kırpma (Her taraftan 20 piksel)			
Yeniden ölçeklendirme (512-256-512)			
Yeniden ölçeklendirme (512-1024-512)			
JPEG sıkıştırma (Q=%75)			
JPEG sıkıştırma (Q=%90)			
Benek gürültüsü (d=0,004)			

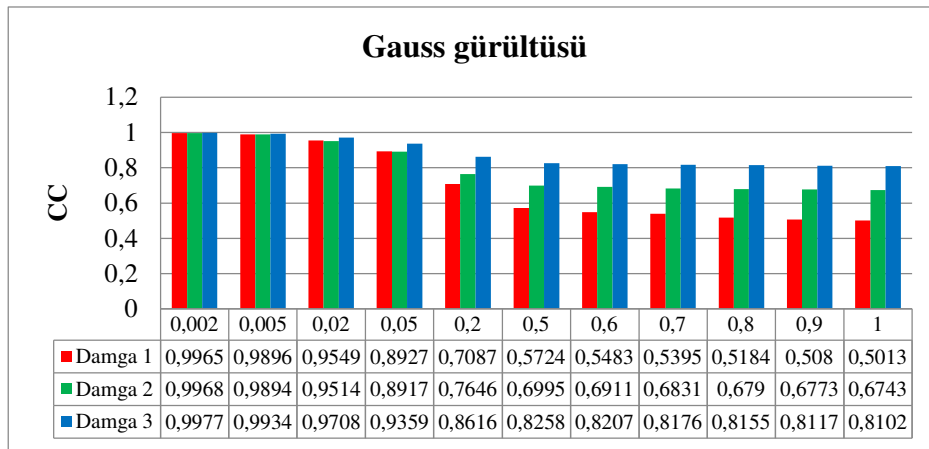
Çizelge 2. 6'da SPO ile bulunan ölçek faktörleri kullanılarak elde edilen damgalanmış görüntüye yapılan farklı saldırılar sonucunda geri elde edilen damgalar görülmektedir.

Çizelge 2. 1 – Çizelge 2. 5'ten görüldüğü gibi saldırılardan sonra ortalama CC değeri 0,9973 çıkmıştır. Taşıyıcı görüntü için elde edilen CC değeri ise $0,9978 \pm 0,0002$ 'dir. Taşıyıcı resmin PSNR değeri ise yaklaşık 28 dB çıkmıştır. Spiral optimizasyonun ölçek faktörü bulunması konusunda kullanılabileceği görülmektedir. Hesaplanan uygunluk fonksiyon değeri 0,004907 olmuştur.

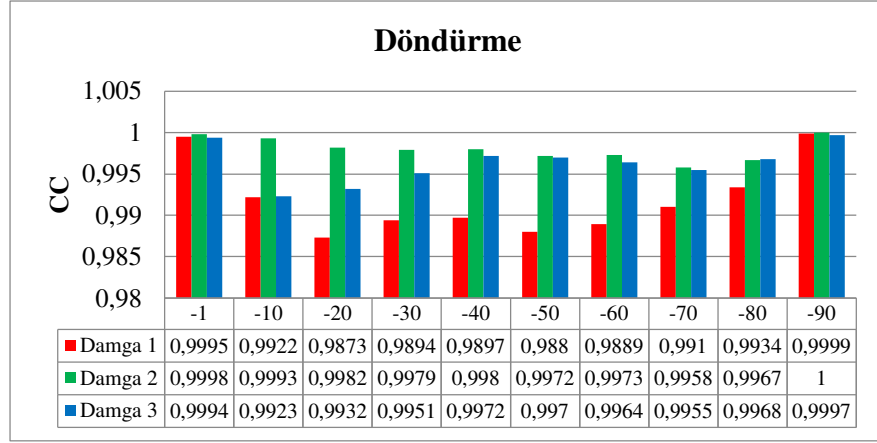
Optimizasyon sırasında kullanılan saldırıların farklı seviyeleri için de aşağıdaki hesaplamalar yapılmış ve bu yöntemin çeşitli seviyelerdeki saldırılara karşı oldukça dayanıklı olduğu görülmüştür.



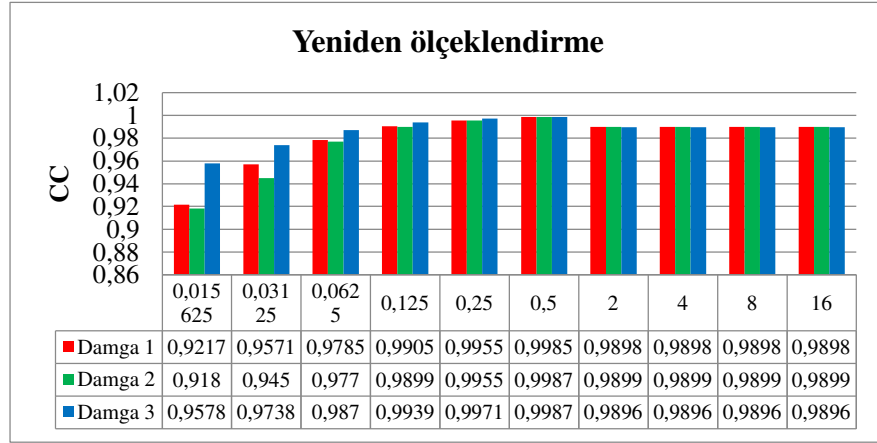
Şekil 2. 18 Farklı yoğunluktaki tuz biber gürültüsüne karşı gösterilen performans



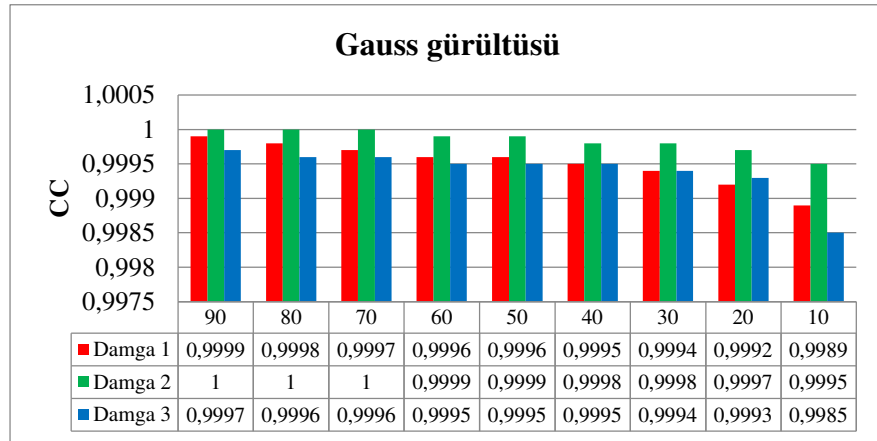
Şekil 2. 19 Farklı yoğunluktaki gauss gürültüsüne karşı gösterilen performans



Şekil 2. 20 Farklı derecelerdeki döndürmeye karşı gösterilen performans



Şekil 2. 21 Farklı seviyelerde yeniden ölçeklendirmeye karşı gösterilen performans



Şekil 2. 22 Farklı kalitelerde JPEG sıkıştırılmaya karşı gösterilen performans

Çizelge 2. 7 Farklı bölgelerden ve farklı miktarlarda yapılan kesme işlemine karşı gösterilen performans

Kesme	CC - Damga 1	CC - Damga 2	CC - Damga 3
Üst sol köşe (50x50)	0,9999	1,000	0,9997
Üst sol köşe (100x100)	0,9999	1,000	0,9997
Üst sol köşe (150x150)	0,9997	1,000	0,9997
Üst sol köşe (200x200)	0,9992	1,000	0,9998
Üst sol köşe (250x250)	0,9986	1,000	0,9997
Üst sağ köşe (50x50)	0,9999	1,000	0,9997
Üst sağ köşe (100x100)	0,9996	0,9999	0,9997
Üst sağ köşe (150x150)	0,9991	0,9999	0,9998
Üst sağ köşe (200x200)	0,9986	0,9996	0,9998
Üst sağ köşe (250x250)	0,9982	0,9992	0,9993
Alt sol köşe (50x50)	0,9999	1,000	0,9998
Alt sol köşe (100x100)	0,9999	1,000	0,9998
Alt sol köşe (150x150)	0,9999	1,000	0,9998
Alt sol köşe (200x200)	0,9998	1,000	0,9998
Alt sol köşe (250x250)	0,9996	1,000	0,9997
Alt sağ köşe (50x50)	0,9999	1,000	0,9998
Alt sağ köşe (100x100)	0,9999	1,000	0,9999
Alt sağ köşe (150x150)	0,9997	0,9999	0,9997
Alt sağ köşe (200x200)	0,9992	0,9999	0,9993
Alt sağ köşe (250x250)	0,9987	0,9998	0,9991
Her kenardan 20 piksel	0,9994	0,9999	0,9998

Çizelge 2.7 damgalanmış görüntünün farklı bölgelerinde yapılan kesme işlemi sonrasında geri elde edilen damgalar ile ilk damgalar arasındaki korelasyon katsayılarını göstermektedir.

Bu çalışmada; SPO kullanılarak beş defa ölçek faktörleri (R kanalı için α_R , G kanalı için α_G ve B kanalı için α_B) bulunmuştur. Her bir denemede bulunan ölçek faktörleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Çizelge 2. 8 Spiral optimizasyon sonucunda bulunan ölçek faktörleri

Ölçek faktörleri	1. Optimizasyon	2. Optimizasyon	3. Optimizasyon	4. Optimizasyon	5. Optimizasyon
α_R	2,8188	3,0805	2,6133	2,7256	2,6783
α_G	1,2344	-1,4047	1,0617	1,1038	1,1869
α_B	1,6417	1,3921	1,7916	1,8745	1,5950

2.3.2 Üç Boyutlu Parçacık Sürü Optimizasyonu

Parçacık sürü optimizasyonu kuş, balık gibi hayvan sürülerinin yiyecek arama davranışlarından esinlenilerek Kennedy ve Eberhart [57] tarafından 1995 yılında geliştirilmiştir.

Algoritma yiyeceklerin olabileceği rastgele noktalar belirlenerek başlar. Arama işlemi yapılan noktalar, o ana kadar tüm noktalar arasında belirlenen küresel en iyi nokta ve her bir noktanın kendisine ait en iyi değeri referans alınarak güncellenir.

N boyutlu spiral için algoritma aşağıdaki gibidir.

- Adım 0: Hazırlık

Hazırlık aşamasında başlangıç noktalarının sayısı ($m \geq 2$), ve iterasyon sayısı k_{max} , c_1, c_2 belirlenir. $k = 0$ olarak ilk değerini alır.

- Adım 1: Başlangıç

$k = 0$ için m adet arama noktalarının n boyutlu başlangıç değerleri belirlenir.

$$X_i(0) \in \mathfrak{R}^n, i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (2.14)$$

Başlangıç noktaları için uygunluk fonksiyonu hesaplanır ve uygunluk fonksiyonunda en düşük değeri veren nokta global en iyi nokta g_{best} olarak belirlenir.

$$g_{best} = X_{ig}(0), i_g = \arg \min f(X_i(0)), i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (2.15)$$

Her bir noktanın konumu o nokta için p_{best} olarak belirlenir.

$$p_{best} = X_i(0), i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (2.16)$$

k değeri 1 arttırılır. Bütün arama noktaları küresel en iyi nokta g_{best} ve p_{best} kullanılarak güncellenir. (Eşitlik 2.17)

$$X_i(1) = X_i(0) + c1 * rand * (p_{best} - X_i(0)) + c2 * rand * (g_{best} - X_i(0)) \quad (2.17)$$

- Adım 2: Arama noktalarının güncellenmesi

Bir önceki aşamada hesaplanan yeni noktalar ile tekrar uygunluk fonksiyonu hesaplanır ve uygunluk fonksiyonunda en düşük değeri veren nokta yani $X_{ig}(k)$ küresel en iyi nokta g_{best} olarak belirlenir.

$$g_{best} = X_{ig}(k), i_g = \arg \min f(X_i(k)), i = 1, 2, 3, \dots, m \quad (2.18)$$

Her bir noktanın daha önce belirlenen p_{best} değeri ile hesaplanan uygunluk değeri, k adımıdaki yeni değeri yani $X_i(k)$ değeri ile hesaplanan uygunluk değeriyle karşılaştırılır. Uygunluk fonksiyonu için daha küçük bir değer veren nokta yeni p_{best} olur. Arama noktalarının güncellenmesi için aşağıdaki eşitlik kullanılır.

$$X_i(k+1) = X_i(k) + c1 * rand * (p_{best} - X_i(k)) + c2 * rand * (g_{best} - X_i(k)) \quad (2.19)$$

- Adım 3: Sonlandırma kriterinin kontrolü

Eğer $k = k_{max}$ maksimum değerine ulaştıysa iterasyon sonlandırılır. Eğer maksimum değere ulaşmadıysa k değeri bir arttırılır ($k = k+1$) ve Adım 2'ye geri dönülür.

Burada uygulanan parçacık sürü optimizasyonunda başlangıç için aşağıdaki koşullar belirlenmiştir ve optimizasyon işlemi 5 kere tekrarlanmıştır.

- Arama yapılacak nokta sayısı $m=20$
- $c_1=c_2=2$
- İterasyon sayısı $k_{max}=20$

PSO ile bulunan sonuçlar; Çizelge 2. 9 - Çizelge 2. 13'te verilmiştir. Çizelgelerde yer alan $CC(R)$ değeri, R katmanına yerleştirilen avuç içi görüntüsü için, ilk damga ve saldırılar sonucunda geri elde edilen damga arasında hesaplanan korelasyon değerlerini gösterir. Benzer şekilde, çizelgelerde yer alan $CC(G)$ değeri, G katmanına yerleştirilen iris görüntüsü için, ilk damga ve saldırılar sonucunda geri elde edilen damga arasında hesaplanan korelasyon değerlerini, $CC(B)$ değeri, B katmanına yerleştirilen kulak görüntüsü için, ilk damga ve saldırılar sonucunda geri elde edilen damga arasında hesaplanan korelasyon değerlerini gösterir.

Çizelgelerin alt kısmında yer alan PSNR ve CC değerleri de, R, G ve B kanalları için taşıyıcı görüntü ile damgalanmış görüntü arasında hesaplanmış olan değerlerdir.



Çizelge 2. 9 Birinci optimizasyon sonuçları (PSO)

SALDIRI	CC(R)	CC(G)	CC(B)	ORT.
Tuz biber gürültüsü (d=0,002)	0,9987	0,9997	0,9995	0,9993
Gauss gürültüsü (d=0,01)	0,9544	0,9880	0,9835	0,9753
Döndürme (-1 derece)	0,9990	0,9998	0,9994	0,9994
Kırpma (Her taraftan 20 piksel)	0,9999	0,9999	0,9998	0,9999
Yeniden ölçeklendirme (512-256-512)	0,9966	0,9993	0,9987	0,9982
Yeniden ölçeklendirme (512-1024-512)	0,9996	0,9999	0,9997	0,9997
JPEG sıkıştırma (Q=%75)	0,9995	0,9999	0,9997	0,9997
JPEG sıkıştırma (Q=%90)	0,9997	0,9999	0,9998	0,9998
Benek gürültüsü (d=0,004)	0,9954	0,9996	0,9996	0,9982
ORTALAMA	0,9937	0,9985	0,9977	0,9966

Bileşen	PSNR	CC
R	32,6320	0,9971
G	26,3351	0,9943
B	27,7366	0,9828
RGB	28,1865	0,9971

Çizelge 2. 10 İkinci optimizasyon sonuçları (PSO)

SALDIRI	CC(R)	CC(G)	CC(B)	ORT.
Tuz biber gürültüsü (d=0,002)	0,9994	0,9995	0,9992	0,9994
Gauss gürültüsü (d=0,01)	0,9757	0,9794	0,9870	0,9807
Döndürme (-1 derece)	0,9994	0,9997	0,9992	0,9995
Kırpma (Her taraftan 20 piksel)	0,9999	0,9999	0,9995	0,9998
Yeniden ölçeklendirme (512-256-512)	0,9983	0,9988	0,9987	0,9986
Yeniden ölçeklendirme (512-1024-512)	0,9997	0,9998	0,9994	0,9996
JPEG sıkıştırma (Q=%75)	0,9997	0,9999	0,9994	0,9997
JPEG sıkıştırma (Q=%90)	0,9998	0,9999	0,9995	0,9997
Benek gürültüsü (d=0,004)	0,9975	0,9995	0,9993	0,9987
ORTALAMA	0,9966	0,9974	0,9979	0,9973

Bileşen	PSNR	CC
R	29,6980	0,9946
G	28,9274	0,9966
B	26,4042	0,9771
RGB	28,1053	0,9975

Çizelge 2. 11 Üçüncü optimizasyon sonuçları (PSO)

SALDIRI	CC(R)	CC(G)	CC(B)	ORT.
Tuz biber gürültüsü (d=0,002)	0,9991	0,9996	0,9986	0,9991
Gauss gürültüsü (d=0,01)	0,9635	0,9834	0,9917	0,9795
Döndürme (-1 derece)	0,9992	0,9998	0,9989	0,9993
Kırpma (Her taraftan 20 piksel)	1,0000	1,0000	0,9988	0,9996
Yeniden ölçeklendirme (512-256-512)	0,9974	0,9991	0,9984	0,9983
Yeniden ölçeklendirme (512-1024-512)	0,9997	0,9999	0,9987	0,9994
JPEG sıkıştırma (Q=%75)	0,9997	1,0000	0,9988	0,9995
JPEG sıkıştırma (Q=%90)	0,9998	1,0000	0,9988	0,9995
Benek gürültüsü (d=0,004)	0,9964	0,9996	0,9986	0,9982
ORTALAMA	0,9950	0,9979	0,9979	0,9969

Bileşen	PSNR	CC
R	31,5728	0,9964
G	27,9315	0,9959
B	23,7902	0,9601
RGB	26,6525	0,9974

Çizelge 2. 12 Dördüncü optimizasyon sonuçları (PSO)

SALDIRI	CC(R)	CC(G)	CC(B)	ORT.
Tuz biber gürültüsü (d=0,002)	0,9983	0,9998	0,9994	0,9992
Gauss gürültüsü (d=0,01)	0,9337	0,9884	0,9754	0,9658
Döndürme (-1 derece)	0,9985	0,9999	0,9994	0,9993
Kırpma (Her taraftan 20 piksel)	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Yeniden ölçeklendirme (512-256-512)	0,9947	0,9994	0,9981	0,9974
Yeniden ölçeklendirme (512-1024-512)	0,9994	0,9999	0,9998	0,9997
JPEG sıkıştırma (Q=%75)	0,9993	1,0000	0,9988	0,9997
JPEG sıkıştırma (Q=%90)	0,9997	1,0000	0,9999	0,9999
Benek gürültüsü (d=0,004)	0,9931	0,9997	0,9968	0,9975
ORTALAMA	0,9907	0,9986	0,9968	0,9954

Bileşen	PSNR	CC
R	34,6103	0,9982
G	26,2461	0,9943
B	29,6744	0,9888
RGB	28,9765	0,9973

Çizelge 2. 13 Beşinci optimizasyon sonuçları (PSO)

SALDIRI	CC(R)	CC(G)	CC(B)	ORT.
Tuz biber gürültüsü (d=0,002)	0,9992	0,9994	0,9993	0,9993
Gauss gürültüsü (d=0,01)	0,9760	0,9756	0,9871	0,9796
Döndürme (-1 derece)	0,9995	0,9997	0,9993	0,9995
Kırpma (Her taraftan 20 piksel)	0,9999	1,0000	0,9995	0,9998
Yeniden ölçeklendirme (512-256-512)	0,9984	0,9986	0,9987	0,9986
Yeniden ölçeklendirme (512-1024-512)	0,9998	0,9999	0,9994	0,9997
JPEG sıkıştırma (Q=%75)	0,9998	1,0000	0,9995	0,9997
JPEG sıkıştırma (Q=%90)	0,9999	1,0000	0,9995	0,9998
Benek gürültüsü (d=0,004)	0,9976	0,9994	0,9993	0,9988
ORTALAMA	0,9992	0,9994	0,9993	0,9993

Bileşen	PSNR	CC
R	29,5802	0,9945
G	29,7079	0,9971
B	26,4026	0,9771
RGB	28,2773	0,9977

Çizelge 2. 9 – Çizelge 2. 13'ten görüldüğü üzere PSO için saldırılardan sonra ortalama CC değeri $0,9967 \pm 0,0003$ çıkmıştır. Taşıyıcı görüntü için elde edilen CC değeri ise $0,9974 \pm 0,0003$ 'dir. Taşıyıcı resmin PSNR değeri yaklaşık 28 dB çıkmıştır. Parçacık sürü optimizasyonun ölçek faktörü bulunması konusunda kullanılabileceği görülmektedir.

Hesaplanan uygunluk fonksiyon değeri ise 0,005108 olmuştur.

SPO ve PSO ile elde edilen sonuçları karşılaştırdığımızda, SPO ile yapılan damgalama işlemi PSO ile yapılandırılana göre az farkla da olsa daha dayanıklı olmuştur. Ayrıca SPO ile elde edilen uygunluk değeri de daha düşüktür. Uygunluk değerinin ideal değeri 0 olduğu için, SPO daha iyi sonuç vermiştir.

2.4 Polinomsal yaklaşıklık

Regresyon analizi bağımlı y değişkeninin beklenen değerini x bağımsız değerine göre modellemek için kullanılır. Temel lineer regresyon modeli olarak aşağıdaki model (Eşitlik 2.20) kullanılır. Bu modeldeki ε gözlemlenmeyen rastgele hatayı gösterir.

$$y = a_0 + a_1x + \varepsilon_1 \quad (2.20)$$

Y'nin beklenen değeri n'inci dereceden bir polinom olarak aşağıdaki (Eşitlik 2.20) gibi modellenir.

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n + \varepsilon \quad (2.21)$$

Bu model matris formunda, tasarım matrisi X, tepki vektörü $\vec{y}$, parametre vektörü $\vec{a}$ ve rastgele hatalardan oluşan $\vec{\varepsilon}$ vektörü kullanılarak gösterilir (Eşitlik 2.22).

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & x_1^2 & \cdots & x_1^m \\ 1 & x_2 & x_2^2 & \cdots & x_2^m \\ 1 & x_3 & x_3^2 & \cdots & x_3^m \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ 1 & x_n & x_n^2 & \cdots & x_n^m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_0 \\ \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_m \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

Saf matris gösterimi ise, $\vec{y} = X\vec{a} + \vec{\varepsilon}$ şeklindedir.

En küçük kareler yaklaşımı kullanılarak hesaplanan yaklaşık polinomsal yaklaşıklık katsayılarına ait vektör $\hat{\vec{a}}$ vektörüdür. (Eşitlik 2.23)

$$\hat{\vec{a}} = (X^T X)^{-1} X^T \vec{y} \quad (2.23)$$

Bu çalışmada tepki vektörü uygunluk fonksiyonundan oluşur. Tasarım matrisi ise ölçek faktörüdür.

2.4.1 Polinomsal yaklaşıklık ile modelleme konusunda yapılan çalışmalar

İteratif optimizasyon ile yapılan çalışmalara ek olarak, uygunluk fonksiyonunun polinomsal yaklaşıklık ile modellenmesi ve model üzerinden ölçek faktörlerinin bulunup bulunamayacağı incelenmiştir. Bu çalışma 3 farklı uygunluk fonksiyonu ile R,G,B katlarının ayrı ayrı modellenmesi şeklinde yapılmıştır.

İlk çalışmada uygunluk fonksiyonunun hesaplanmasında korelasyon katsayıları kullanılmıştır ve iteratif optimizasyon için kullanılan uygunluk fonksiyonuna benzer bir fonksiyon kullanılmıştır. Buradaki fark fonksiyonun tek bir bileşen için ayrı ayrı hesaplanmasıdır. İkinci çalışmada Uygunluk Fonksiyonunun hesaplanmasında PSNR değerleri kullanılmıştır. Üçüncü çalışmada Uygunluk Fonksiyonunun hesaplanmasında CC değerleri kullanılmıştır.

Model 1 için uygunluk fonksiyonu Eşitlik 2.24'te verilmiştir. Bu uygunluk fonksiyonuyla R, G ve B kanalları için elde edilen modeller ve bulunan ölçek faktörleri de Çizelge 2.14'te görülmektedir. Çizelge 2. 15'te saldırılara karşı gösterilen dayanıklılık performansı ve Çizelge 2.16'da da görünmezlik performansı gösterilmiştir.

$$F = \frac{N}{\sum_{i=1}^N CC_{i,damga}} - CC_{tasiyici} \quad (2.24)$$

Çizelge 2. 14 Güçlü damgalama için bulunan modeller ve ölçek faktörleri (Model 1)

Kanal	Yapılan model	Ölçek faktörü
R	$-0,002901\alpha_1^2 + 0,019218\alpha_1 - 0,02913 = 0$	2,34793
G	$-0,019146\alpha_2^2 + 0,0691\alpha_2 - 0,0569 = 0$	1,27115
B	$-0,03918\alpha_3^2 + 0,1484\alpha_3 - 0,1098 = 0$	1,00831

Çizelge 2. 15 Model 1 ile bulunan ölçek faktörleri kullanılarak yapılan damgalamanın saldırılara karşı dayanıklılık performansı

SALDIRI	CC(R)	CC(G)	CC(B)	ORT.
Tuz biber gürültüsü (d=0,002)	0,9992	0,9995	0,9993	0,9994
Gauss gürültüsü (d=0,01)	0,9688	0,9774	0,9663	0,9708
Döndürme (-1 derece)	0,9994	0,9998	0,9992	0,9994
Kırpma (Her taraftan 20 piksel)	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Yeniden ölçeklendirme (512-256-512)	0,9978	0,9988	0,9973	0,9980
Yeniden ölçeklendirme (512-1024-512)	0,9997	0,9999	0,9997	0,9998
JPEG sıkıştırma (Q=%75)	0,9997	1,0000	0,9997	0,9998
JPEG sıkıştırma (Q=%90)	0,9999	1,0000	0,9999	0,9999
Benek gürültüsü (d=0,004)	0,9969	0,9995	0,9995	0,9986
ORTALAMA	0,9957	0,9972	0,9957	0,9962

Çizelge 2. 16 Model 1 ile bulunan ölçek faktörleri kullanılarak yapılan damgalamanın görünmezlik performansı

Bileşen	PSNR	CC	Damgalanmış Görüntü
R	30,8470	0,9958	
G	29,3177	0,9969	
B	31,2226	0,9921	
RGB	30,3817	0,9979	

Görüldüğü üzere hem görünmezlik performansı hem de saldırılara karşı performans oldukça iyidir. Model 2 içinse uygunluk fonksiyonu Eşitlik 2.25'te verilmiştir. Bu fonksiyondaki $PSNR_{görunmezlik}$ damgalanmış görüntü ile taşıyıcı görüntü arasında hesaplanan PSNR değeridir.

$PSNR_{dayanıklilik}$ ise saldırı sonrası geri elde edilen damga ile orijinal damga arasında hesaplanan PSNR değeridir.

$$F = PSNR_{görünmezlik} - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N PSNR_{dayanıklilik} \quad (2.25)$$

Bu uygunluk fonksiyonuna göre elde edilen modeller ve modeller aracılığıyla bulunan ölçek faktörleri Çizelge 2. 17’de görülmektedir. Çizelge 2. 19’da görülen görünmezlik performansları Model 2 ile elde edilmiştir ve Model 1’e göre daha iyi sonuç vermiştir. Saldırılarına karşı gösterilen dayanıklılık performansı ise Model 1’den daha kötüdür. (Çizelge 2. 18). Özellikle Gauss gürültüsündeki performans farkı belirgindir.

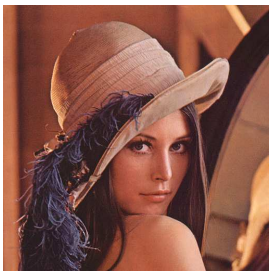
Çizelge 2. 17 Güçlü damgalama için bulunan modeller ve ölçek faktörleri (Model 2)

Kanal	Yapılan model	Ölçek faktörü
R	$-51,45\alpha_1^3 + 113,6\alpha_1^2 - 107,9\alpha_1 + 33,37 = 0$	0,54426
G	$-51,50\alpha_2^3 + 112,8\alpha_2^2 - 107,1\alpha_2 + 30,11 = 0$	0,4514
B	$-137\alpha_3^3 + 219,2\alpha_3^2 - 154,6\alpha_3 + 30,60 = 0$	0,30417

Çizelge 2. 18 Model 2 ile bulunan ölçek faktörleri kullanılarak yapılan damgalamanın saldırılara karşı dayanıklılık performansı

SALDIRI	CC(R)	CC(G)	CC(B)	ORT.
Tuz biber gürültüsü (d=0,002)	0,9881	0,9967	0,9923	0,9924
Gauss gürültüsü (d=0,01)	0,7112	0,8733	0,7868	0,7904
Döndürme (-1 derece)	0,9883	0,9981	0,9926	0,9930
Kırpma (Her taraftan 20 piksel)	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Yeniden ölçeklendirme (512-256-512)	0,9580	0,9894	0,9700	0,9725
Yeniden ölçeklendirme (512-1024-512)	0,9951	0,9990	0,9962	0,9968
JPEG sıkıştırma (Q=%75)	0,9950	0,9998	0,9974	0,9974
JPEG sıkıştırma (Q=%90)	0,9980	1,0000	0,9992	0,9990
Benek gürültüsü (d=0,004)	0,9533	0,9967	0,9953	0,9818
ORTALAMA	0,9541	0,9837	0,9700	0,9693

Çizelge 2. 19 Model 2 ile bulunan ölçek faktörleri kullanılarak yapılan damgalamanın görünmezlik performansı

Bileşen	PSNR	CC	Damgalanmış Görüntü
R	43,5445	0,9998	
G	38,3039	0,9995	
B	41,6322	0,9992	
RGB	55,6133	0,9997	

Model 3'e ait uygunluk fonksiyonu da Eşitlik 2.26'da yer almaktadır. Bu fonksiyondaki $CC_{görünmezlik}$ damgalanmış görüntü ile taşıyıcı görüntü arasında hesaplanan CC değeridir. $CC_{dayanıklilik}$ ise saldırı sonrası geri elde edilen damga ile orijinal damga arasında hesaplanan CC değeridir.

$$F = CC_{görünmezlik} - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N CC_{dayanıklilik} \quad (2.26)$$

Bu uygunluk fonksiyonuna göre elde edilen modeller ve modeller aracılığıyla bulunan ölçek faktörleri Çizelge 2. 20’de görülmektedir.

Çizelge 2. 20 Güçlü damgalama için bulunan modeller ve ölçek faktörleri (Model 3)

Kanal	Yapılan model	Ölçek faktörü
R	$-0,000696\alpha_1^3 + 0,00697\alpha_1^2 - 0,02766\alpha_1 + 0,03 = 0$	2,35975
G	$-0,002519\alpha_2^3 + 0,01469\alpha_2^2 - 0,03443\alpha_2 + 0,002490 = 0$	0,4514
B	$-0,02139\alpha_3^3 + 0,07108\alpha_3^2 - 0,1015\alpha_3 + 0,04883 = 0$	0,87914

Çizelge 2. 21’da görülen görünmezlik performansları Model 3 ile elde edilmiştir ve Model 1’e benzer sonuçlar vermiştir. Saldırılara karşı gösterilen dayanıklılık performansı da Model 1’e benzemektedir. (Çizelge 2. 22).

Çizelge 2. 21 Model 3 ile bulunan ölçek faktörleri kullanılarak yapılan damgalamanın saldırılara karşı dayanıklılık performansı

SALDIRI	CC(R)	CC(G)	CC(B)	ORT.
Tuz biber gürültüsü (d=0,002)	0,9992	0,9995	0,9991	0,9993
Gauss gürültüsü (d=0,01)	0,9693	0,9761	0,9571	0,9675
Döndürme (-1 derece)	0,9994	0,9998	0,9990	0,9994
Kırpma (Her taraftan 20 piksel)	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Yeniden ölçeklendirme (512-256-512)	0,9978	0,9987	0,9965	0,9977
Yeniden ölçeklendirme (512-1024-512)	0,9997	0,9999	0,9996	0,9997
JPEG sıkıştırma (Q=%75)	0,9997	1,0000	0,9997	0,9998
JPEG sıkıştırma (Q=%90)	0,9999	1,0000	0,9999	0,9999
Benek gürültüsü (d=0,004)	0,9969	0,9995	0,9994	0,9986
ORTALAMA	0,9958	0,9970	0,9945	0,9958

Çizelge 2. 22 Model 3 ile bulunan ölçek faktörleri kullanılarak yapılan damgalamanın görünmezlik performansı

Bileşen	PSNR	CC	Damgalanmış görüntü
R	30,8033	0,9958	
G	29,6218	0,9971	
B	32,4133	0,9939	
RGB	45,4092	0,9980	

Bu bölümde 5 farklı optimizasyon ile damgalama yapıldı. 5 yöntemin karşılaştırılma sonuçları Çizelge 2. 23'te verilmiştir.

Çizelge 2. 23 Farklı optimizasyon yöntemleriyle elde edilen sonuçlar

	3 boyutlu SPO	3 boyutlu PSO	Model 1	Model 2	Model 3
Gri seviyeli taşıyıcı için PSNR	28,4673	28,5044	45,3602	55,6133	45,4092
Gri seviyeli taşıyıcı için CC	0,9977	0,9974	0,9979	0,9997	0,9980
R için PSNR	29,3381	32,2262	30,8470	43,5445	30,8033
G için PSNR	29,9055	27,4925	29,3177	38,3039	29,6218
B için PSNR	26,7860	27,9785	31,2226	41,6322	32,4133
R için CC	0,9942	0,9965	0,9958	0,9998	0,9958
G için CC	0,9967	0,9954	0,9969	0,9995	0,9971
B için CC	0,9783	0,9829	0,9921	0,9992	0,9939
Saldırı sonrası R için PSNR ortalama	53,2645	52,6211	52,47657	43,2719	53,0585
Saldırı sonrası G katı için PSNR ortalama	49,1751	50,3271	46,23263	38,291	45,98513
Saldırı sonrası B katı için PSNR ortalama	45,2931	46,7269	51,73257	40,9596	50,5457
Saldırı sonrası R için CC ortalama	0,9971	0,9945	0,9956	0,9443	0,9957
Saldırı sonrası G için CC ortalama	0,9979	0,9979	0,9972	0,98384	0,99703

Çizelge 2. 23 Farklı optimizasyon yöntemleriyle elde edilen sonuçlar (Devamı)

	3 boyutlu SPO	3 boyutlu PSO	Model 1	Model 2	Model 3
Saldırı sonrası B için CC ortalama	0,9973	0,9977	0,99567	0,96994	0,99443
Saldırı sonrası R+G+B için CC ortalama	0,9974	0,9967	0,99616	0,9660	0,99572
Uygunluk (3B Opt.)	0,004907	0,005108			
Uygunluk (R)			0,00862	0,2726	0,0001
Uygunluk (G)			0,00591	0,0129	0,0001
Uygunluk (B)			0,01225	0,6726	-0,00053

2.5 Optimizasyon ve Modelleme Çalışmalarının Değerlendirilmesi

Çizelge 2. 23'te görüldüğü üzere eğer taşıyıcı görüntüdeki bozulmayı minimumda tutmak ve geri elde edilen damgalar için de iyi bir performans istiyorsak model 2'nin kullanılması en iyi yöntemdir. Eğer geri elde edilen damgadaki bozulmayı minimumda tutmak ve taşıyıcı görüntüde de iyi bir performans istiyorsak optimizasyon yöntemi en iyi yöntemdir. 20 iterasyon sonucunda ve burada kullanılan başlangıç değerleri ile spiral optimizasyon, parçacık sürü optimizasyona göre daha başarılı olmuştur ve daha düşük uygunluk değeri bulunmuştur.

Tekil değer ayrışımı yönteminin çoklu biyometri için güçlü damgalama işlemlerinde kullanılabileceği görülmüştür.

SONLU RIDGELET DÖNÜŞÜMÜ İLE DAMGALAMA

Üç adet biyometrik verinin RGB taşıyıcı görüntü içerisine saklanması amacıyla uzaysal dönüşümlerden biri olan SVD yöntemiyle yapılan çalışmalar bir önceki bölümde anlatılmıştı. Bu bölümde ise frekans dönüşümlerinden Sonlu ridgelet dönüşümü (FRIT) ile yapılan damgalama çalışmaları anlatılmıştır. Bunun için öncelikle FRIT kavramı özetlenmiştir. Ölçek faktörünün belirlenmesi amacıyla polinomsal yaklaşıklık kullanılmış ve her bir kanal için ayrı ayrı modelleme yapılmıştır. Modellemeler ilk olarak güçlü damgalama için yapılmıştır ancak FRIT yöntemiyle damgalamanın güçlü damgalamaya uygun olmadığı görülmüştür. Bu yöntemin yarı kırılğan damgalama için kullanılabileceği düşünülerek buna uygun yeni modeller geliştirilmiş ve gerçekten de yarı kırılğan damgalamaya uygun bir yöntem olduğu görülmüştür.

3.1 Sonlu Ridgelet Dönüşümü

Ridgelet Dönüşümü ilk olarak Candes ve Donoho tarafından [35] sürekli uzay için tanımlanmıştır. Sonrasında ise Do ve Vetterli [36] ayrık ve sonlu boyuttaki görüntüler için ridgelet dönüşümünün ortonormal versiyonunu geliştirmişlerdir. FRIT özellikle düz çizgilerin olduğu bölgelerde DWT'ye göre daha başarılıdır. $\mathfrak{R}^2$ uzayında yer alan, iki değişkenli ve integrali alınabilen $f(x)$ fonksiyonunun Sürekli ridgelet dönüşümü (CRF) Eşitlik 3. 1'deki gibidir.

$$CRF_T(a, b, \theta) = \int_{\mathfrak{R}^2} \psi_{a,b,\theta}(x) f(x) dx \quad (3.1)$$

Eşitlikteki a ölçeği, b yeri ve θ oryantasyon açısını gösterir. Ridgelet fonksiyonu $x_1 \cos(\theta) + x_2 \sin(\theta) = \text{sabit}$ eğrisi boyunca sabittir [36].

İki boyutlu ridgelet $\psi_{a,b,\theta}(x)$ fonksiyonu, tek boyutlu dalgacık tipi $\psi(x)$ fonksiyonundan yararlanılarak Eşitlik 3.2'deki gibi tanımlanır [36].

$$\psi_{a,b,\theta}(x) = a^{-\frac{1}{2}} \psi((x_1 \cos \theta + x_2 \sin \theta - b) / a) \quad (3.2)$$

$f(x)$ fonksiyonunun ayrılabilir sürekli dalgacık dönüşümü $\mathbb{R}^2$ uzayında Eşitlik 3.3'teki gibi yazılır. İki farklı tek boyuttaki dalgacık dönüşümlerinin çarpımıdır [36].

$$CWT(a_1, a_2, b_1, b_2) = \int \psi_{a_1, b_1}(x_1) \psi_{a_2, b_2}(x_2) f(x) dx \quad (3.3)$$

Tek boyutlu dalgacık fonksiyonu $\psi_{a,b}(t) = a^{-1/2} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right)$ olarak tanımlanmıştır.

Yukarıdaki eşitliklerden de görüldüğü üzere Sürekli Ridgelet Dönüşümü, iki boyutlu Sürekli Dalgacık Dönüşümüne oldukça benzemektedir. Sürekli dalgacık dönüşümünde yer alan nokta parametreleri b_1, b_2 'nin yerini çizgi parametreleri b, θ almıştır. Dalgacık dönüşümü ve ridgelet dönüşümü birbirine Radon dönüşümü ile bağlanır [36]. Bir fonksiyonun radon dönüşümü aşağıdaki gibi gösterilir. (Eşitlik 3.4)

$$R_f(\theta, t) = \int_{\mathbb{R}^2} f(x) \delta(x_1 \cos \theta + x_2 \sin \theta - t) dx \quad (3.4)$$

Ridgelet dönüşümü için, bir fonksiyonun radon dönüşümü sonrası olan yansıtımlarına tek boyutlu dalgacık dönüşümünün uygulanmasıdır denilebilir. Sürekli ridgelet dönüşümüyle dalgacık dönüşümü ve radon dönüşümü arasındaki ilişki Eşitlik 3.5'te verilmiştir [36].

$$CRT_f(a, b, \theta) = \int_R \psi_{a,b}(t) R_f(\theta, t) dt \quad (3.5)$$

Ayrık durumda ise sonlu radon dönüşümü (FRAT) belirli çizgi kümeleri üzerinde yer alan piksel değerlerinin toplamı olarak ifade edilir. $L_{k,l}$, L çizgisi üzerinde yer alan pikselleri ifade eder. L çizgisinin eğimi k 'dır ve l bu çizgi üzerindeki noktalardır. (i, j) ise çizgi üzerindeki noktaların koordinatlarıdır. İşlem yapılan görüntünün boyutları $p \times p$ 'dir ve p asal sayıdır.

$$r_k[l] = FRAT(k, l) = \frac{1}{\sqrt{p}} \sum_{(i,j) \in L_{k,l}} f[i, j] \quad (3.6)$$

Öyleyse sonlu ridgelet dönüşümü (FRIT) aşağıdaki gibi yazılabilir [36]. FRAT dönüşümü ile bulunan yansıtımlara, 1B DWT yani $\omega_m^k[.]$ uygulanmıştır.

$$\begin{aligned} FRIT_f[k, m] &= \left\langle FRAT_f[k, .], \omega_m^k[.] \right\rangle \\ &= \sum_{l \in Z_p} \omega_m^k[l] \langle f, \varphi_{k,l} \rangle \\ &= \left\langle f, \sum_{l \in Z_p} \omega_m^k[l] \rho_{k,l} \right\rangle \end{aligned} \quad (3.7)$$

Buradaki $\varphi_{k,l}$, sonlu radon dönüşümü çerçevesidir. Sonlu ridgelet dönüşümünün taban fonksiyonu da $\rho_{k,m}$ 'dir.

$$\rho_{k,m} = \sum_{l \in Z_p} \omega_m^k[l] \rho_{k,l} \quad (3.8)$$

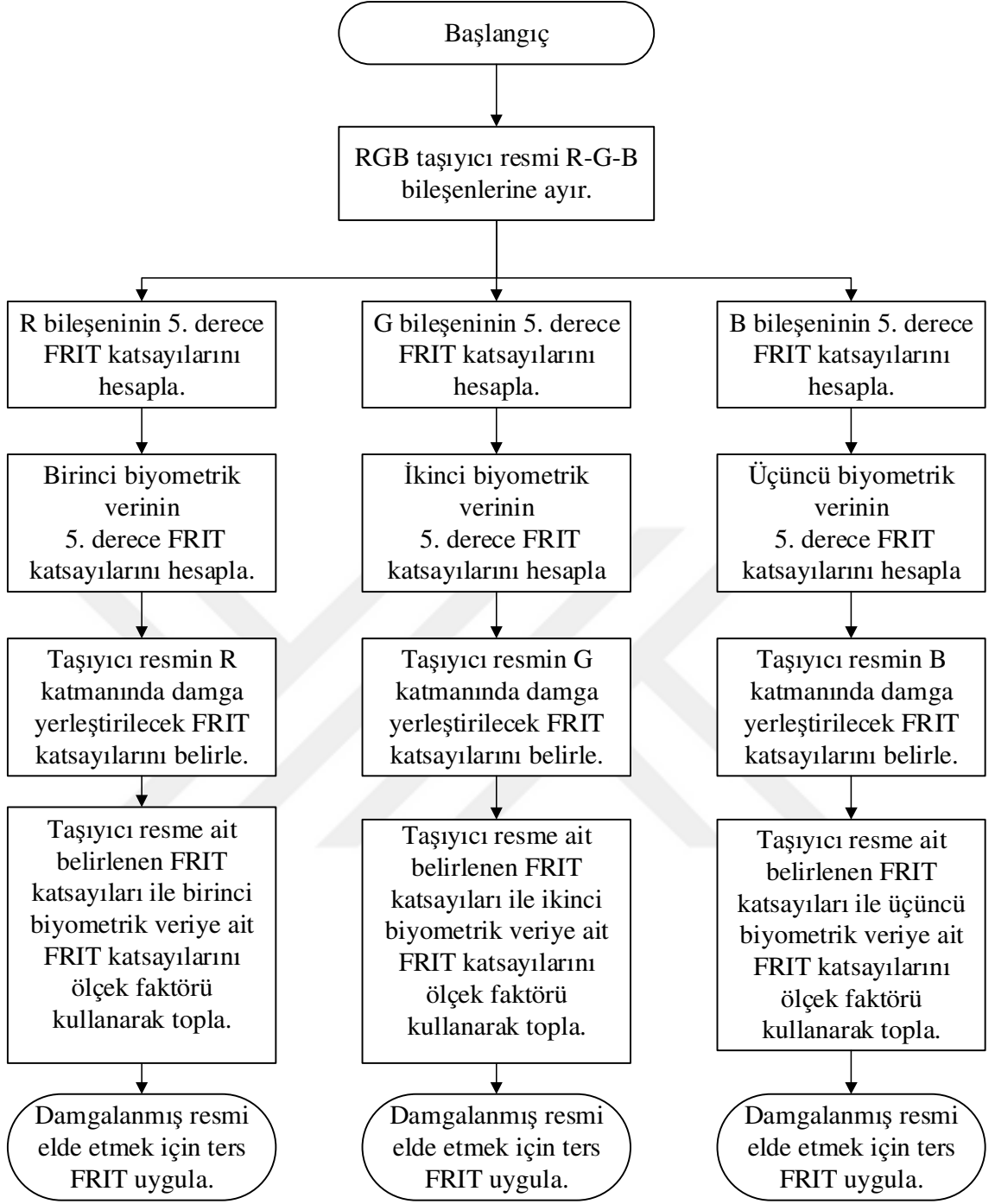
3.2 Sonlu Ridgelet Dönüşümü ile Damgalama

FRIT ile yapılan damgalama çalışmalarında; hem taşıyıcı görüntüye, hem de damga görüntülerine sonlu ridgelet dönüşümü uygulanmış ve elde edilen katsayılar belirli bir oranda birleştirilerek damgalanmış görüntüye ait FRIT katsayıları oluşturulmuştur (Eşitlik 3.9). Bu katsayılara uygulanan Ters Sonlu Ridgelet dönüşümü ile de damgalanmış görüntü elde edilmiştir (Eşitlik 3.10).

$$FRIT_{damgalanmışgörüntü}(i, j) = FRIT_{taşıyıcı}(i, j) + \alpha FRIT_{damga}(i, j) \quad (3.9)$$

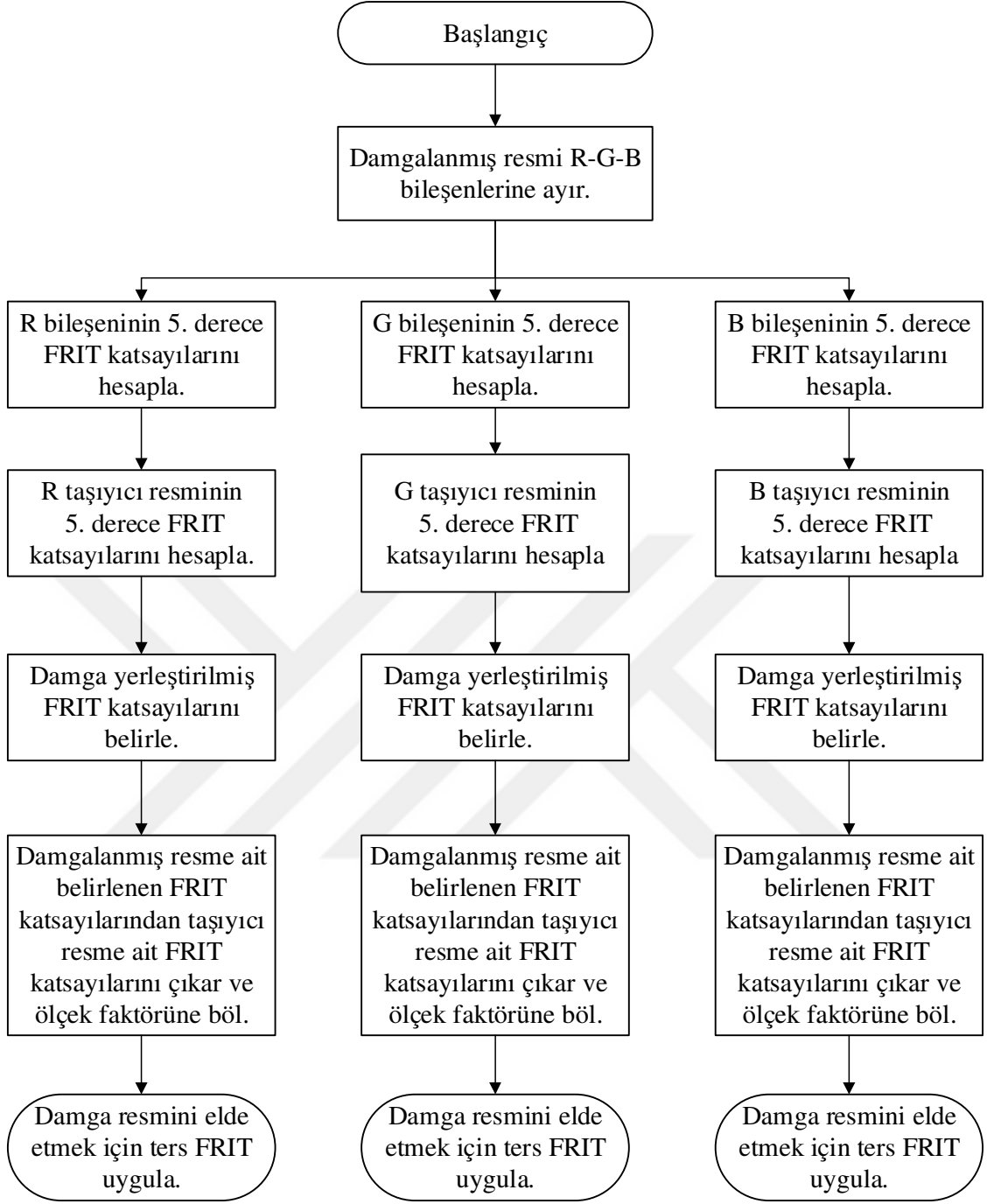
$$I_{damgalanmışgörüntü}(i, j) = IFRIT_{damgalanmışgörüntü}(i, j) \quad (3.10)$$

Sonlu Ridgelet Dönüşümü ile yapılan damgalama işlemi Şekil 3. 1'deki algoritmaya göre yapılmıştır.



Şekil 3. 1 Sonlu ridgelet dönüşümü ile damgalama işlemi

Damganın damgalanmış görüntüden ayrılması için ise Şekil 3. 2'deki algoritma kullanılmıştır.



Şekil 3. 2 Sonlu ridgelet dönüşümü ile damgalanmış görüntüden damganın geri elde edilişi

Bu algoritmalarda kullanılacak olan ölçek faktörünün hesaplanması amacıyla polinomsal yaklaşıklık yöntemi kullanılmıştır. Yapılan uygulama iki temel adımdan oluşmaktadır. İlk adımda ölçek faktörü 0.02 artışlarla değiştirilerek hem taşıyıcı görüntüdeki bozulma hem de saldırılar sonucunda damga resmindeki bozulma değerleri

hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler kullanılarak uygunluk fonksiyonu modellenmiştir. İkinci olarak uygunluk değerini 0 yapan ölçek değerleri bulunmuştur.

FRIT ile yapılan damgalama işleminde Bölüm 2’de anlatılan ikinci uygunluk fonksiyonundan yararlanılmıştır. Buna göre kullanılan uygunluk fonksiyonu aşağıdaki şekildedir.

$$F = PSNR_{görünmezlik} - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N PSNR_{dayanıklilik} \quad (3.11)$$

Uygunluk fonksiyonu hesaplanırken kullanılan saldırılar;

- Tuz biber gürültüsü (d=0.002)
- Döndürme
- Kesme
- JPEG sıkıştırma
- Yeniden ölçeklendirme.

İkinci uygunluk fonksiyonu kullanılarak bulunan modeller ve bu modeller aracılığıyla hesaplanan ölçek faktörlerinin değerleri Çizelge 3. 1’de görülmektedir.

Çizelge 3. 1 FRIT ile Güçlü damgalama için bulunan modeller ve ölçek faktörleri

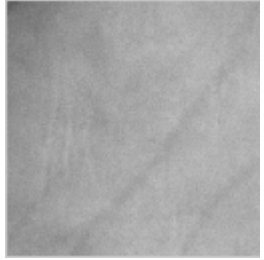
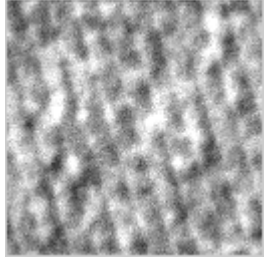
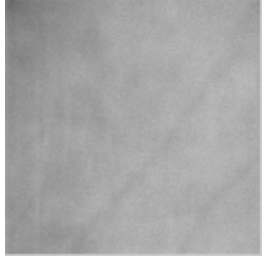
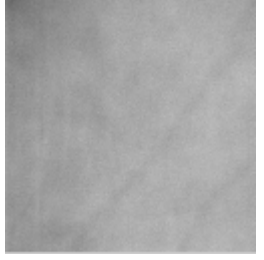
Kanal	Yapılan model	Ölçek faktörü
R	$-0,7316\alpha_1^3 + 6,378\alpha_1^2 - 23,21\alpha_1 + 24,78 = 0$	1,72016
G	$-03,465\alpha_2^3 + 17,76\alpha_2^2 - 37,03\alpha_2 + 23,34 = 0$	1,05248
B	$-1,951\alpha_3^3 + 12,40\alpha_3^2 - 31,52\alpha_3 + 22,69 = 0$	1,13832

Çizelge 3. 2 Sonlu Ridgelet dönüşümü ile yapılan damgalamanın görünmezlik performansı

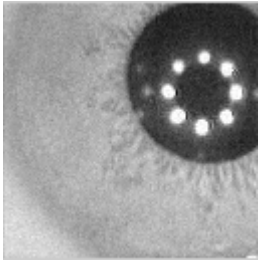
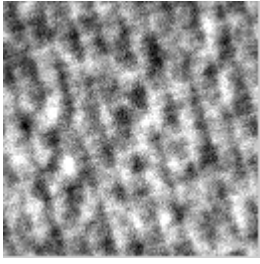
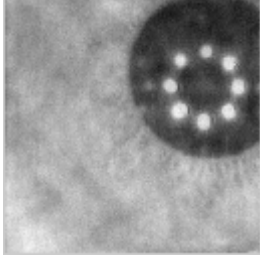
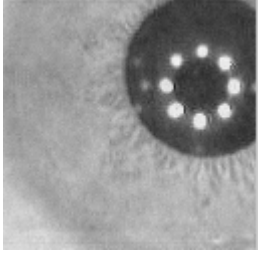
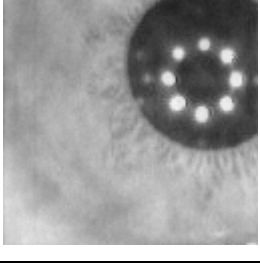
Bileşen	PSNR	CC	Damgalanmış Görüntü
R	33,3528	0,9954	
G	25,2956	0,9472	
B	28,0991	0,9608	

Çizelge 3. 2’de bu yöntemle yapılan damgalama sonucunda her bir kat için ayrı ayrı damgalanmış görüntüler görülmektedir. Damgalanmış görüntüler arasında en iyi performans R katı için elde edilirken, en kötü performans G katı için elde edilmiştir. Çizelge 3. 3, Çizelge 3. 4 ve Çizelge 3. 5’te damgalanmış görüntüye yapılan saldırılar sonucunda geri elde edilen damga görüntüleri görülmektedir.

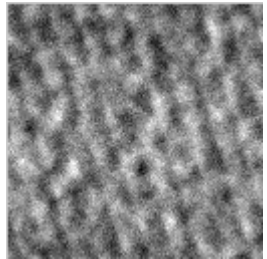
Çizelge 3. 3 R katında yapılan damgalamanın saldırılara karşı performansı

R bileşeni için	PSNR	CC	Çıkarılan Damga
Tuz biber gürültüsü (d=0,002)	36,8201	0,9622	
Döndürme (-10 derece)	15,9739	0,083	
JPEG sıkıştırma (Q=%70)	36,0267	0,9508	
Kırpma (Her taraftan 20 piksel)	39,1361	0,9878	
Yeniden ölçeklendirme (önce x2 sonra x0.5)	39,4610	0,9833	
Ortalama	33,4835	0,79342	

Çizelge 3. 4 G katında yapılan damgalamanın saldırılara karşı performansı

G bileşeni için	PSNR	CC	Çıkarılan Damga
Tuz biber gürültüsü (d=0,002)	38,8336	0,9931	
Döndürme (-10 derece)	11,3060	0,0572	
JPEG sıkıştırma (Q=%70)	25,9998	0,9710	
Kırpma (Her taraftan 20 piksel)	27,8675	0,9892	
Yeniden ölçeklendirme (önce x2 sonra x0.5)	28,9415	0,9875	
Ortalama	26,58968	0,7996	

Çizelge 3. 5 B katında yapılan damgalamanın saldırılara karşı performansı

B bileşeni için	PSNR	CC	Çıkarılan Damga
Tuz biber gürültüsü (d=0,002)	31,7326	0,9874	
Döndürme (-10 derece)	14,1729	0,0176	
JPEG sıkıştırma (Q=%70)	30,7607	0,9779	
Kırpma (Her taraftan 20 piksel)	30,1770	0,9864	
Yeniden ölçeklendirme (önce x2 sonra x0.5)	32,5521	0,9886	
Ortalama	27,87906	0,79150	

Bu yöntem döndürme saldırısı için başarısız olurken, diğer saldırılar için başarılı olmuştur.

Şekil 3. 3'te farklı katmanlara yerleştirilen damgaların taşıyıcı görüntüye etkilerine bakarsak, G katında yapılan damgalamanın taşıyıcı görüntüyü bozduğu görülmektedir.

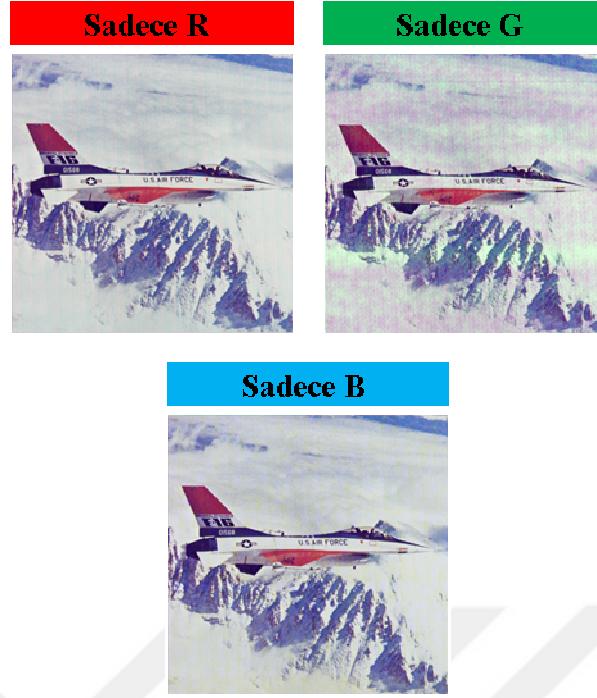


Şekil 3. 3 Lenna taşıyıcısı ile yapılan damgalama

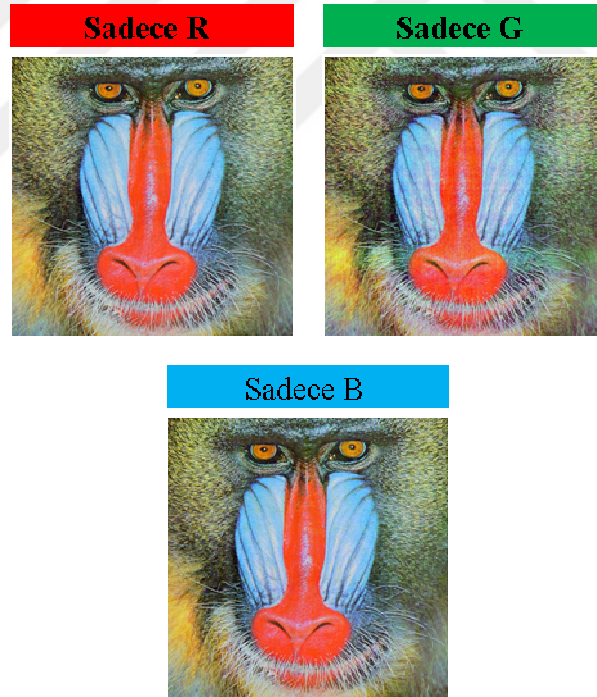


Şekil 3. 4 Lenna taşıyıcısı ile R+B katlarına yapılan damgalama

G katındaki bozulmayı gördükten sonra bozulmanın taşıyıcı görüntü kaynaklı olup olmadığını anlamak için iki farklı taşıyıcıda daha aynı işlemler yapılmıştır. Airplane taşıyıcı görüntüsü ile yapılan çalışmanın sonucu Şekil 3. 5'te, Baboon taşıyıcı görüntüsü ile yapılan çalışmanın sonucu Şekil 3. 6'da yer almaktadır.



Şekil 3. 5 Airplane taşıyıcısı ile yapılan damgalama



Şekil 3. 6 Baboon taşıyıcısı ile yapılan damgalama

Üç farklı taşıyıcı için de benzer sonuçlar elde edilmiş ve G katmanına yapılan damgalama işleminin taşıyıcı görüntüyü oldukça bozduğu görülmüştür. Gözlerin G katmanına diğer katmanlara göre daha hassas olduğu bilinmektedir. Bu durum Eşitlik 3.12’de görülmektedir.

$$Yogunluk = 0,21R + 0,72G + 0,07B \quad (3.12)$$

Taşıyıcı görüntüde belirgin bir bozulma olmadan güçlü damgalama yapmak için R ve B katmanlarını kullanabiliriz. Bu çalışmada sonuç olarak; 3. Derece polinomsal yaklaşıklık ile bulunan ölçek faktörleriyle FRIT yöntemi kullanılarak yapılan damgalama işlemi döndürme saldırısı haricinde başarılı olmuştur. Önceki bölümlerde kullanılan uygunluk fonksiyonu güçlü damgalama için seçilmişti. Ancak döndürme saldırısında elde edilen sonuçlar bu yöntemle tam manasıyla güçlü bir damgalama yapılamayacağını göstermiştir.

Bu sebeple uygunluk fonksiyonu yarı kırılğan damgalama olacak şekilde değiştirilmiştir. Yarı kırılğan damgalama için kullanılan yeni fonksiyon Eşitlik 3.13'de verilmiştir.

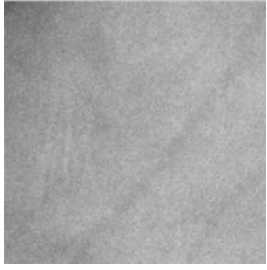
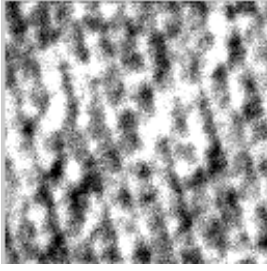
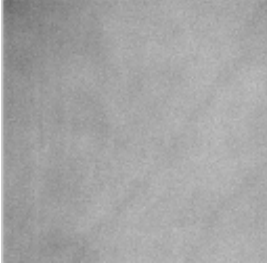
$$F = PSNR_{görünmezlik} - \frac{1}{N1 + N2} \left(\sum_{i=1}^{N1} PSNR_{i,dayanıklilik} + \sum_{j=1}^{N2} (60 - PSNR_{j,dayanıklilik}) \right) \quad (3.13)$$

Burada; N1 damgalamanın dayanıklı olması istenen saldırı sayısını, N2 ise damgalamanın kırılğan olması istenen saldırı sayısını gösterir. Bu uygulama için N1=4 ve N2=1'dir. Bu uygunluk fonksiyonuyla bulunan modeller (Model 4) ve ölçek faktörleri Çizelge 3. 6'da verilmiştir.

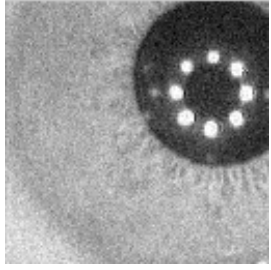
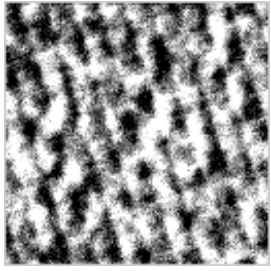
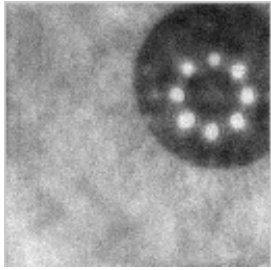
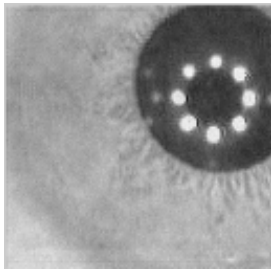
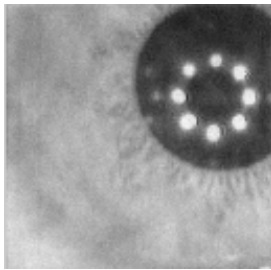
Çizelge 3. 6 FRIT ile Yarı kırılğan damgalama için bulunan modeller ve ölçek faktörleri

Kanal	Yapılan model	Ölçek faktörü
R	$-3,355\alpha_1^3 + 16,62\alpha_1^2 - 33,94\alpha_1 + 20,53 = 0$	0,98663
G	$-20,26\alpha_2^3 + 52,66\alpha_2^2 - 57,81\alpha_2 + 18,25 = 0$	0,49865
B	$-12,35\alpha_3^3 + 38,70\alpha_3^2 - 51,13\alpha_3 + 19,83 = 0$	0,62359

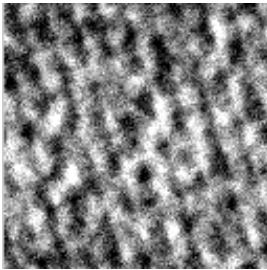
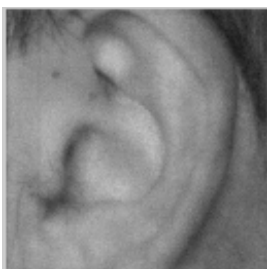
Çizelge 3. 7 Model 4 ile R katında yapılan damgalamanın saldırılara karşı dayanıklılık performansı

R bileşeni için	PSNR	CC	Çıkarılan Damga
Tuz biber gürültüsü (d=0,002)	32,1473	0,8984	
Döndürme (-10 derece)	11,3562	0,0868	
JPEG sıkıştırma (Q=%70)	33,1196	0,8999	
Kırpma (Her taraftan 20 piksel)	39,1178	0,9876	
Yeniden ölçeklendirme (önce x2 sonra x0,5)	37,8577	0,9711	

Çizelge 3. 8 Model 4 ile G katında yapılan damgalamanın saldırılara karşı dayanıklılık performansı

G bileşeni için	PSNR	CC	Çıkarılan Damga
Tuz biber gürültüsü (d=0,002)	26,1833	0,9729	
Döndürme (-10 derece)	7,2425	-0,0078	
JPEG sıkıştırma (Q=%70)	23,7390	0,9500	
Kırpma (Her taraftan 20 piksel)	27,9499	0,9892	
Yeniden ölçeklendirme (önce x2 sonra x0,5)	28,4402	0,9852	

Çizelge 3. 9 Model 4 ile B katında yapılan damgalamanın saldırılara karşı dayanıklılık performansı

B bileşeni için	PSNR	CC	Çıkarılan Damga
Tuz biber gürültüsü (d=0,002)	28,0312	0,9607	
Döndürme (-10 derece)	10,8025	0,0044	
JPEG sıkıştırma (Q=%70)	27,7983	0,9555	
Kırpma (Her taraftan 20 piksel)	30,2107	0,9864	
Yeniden ölçeklendirme (önce x2 sonra x0,5)	31,5915	0,9842	

Çizelge 3. 7, Çizelge 3. 8 ve Çizelge 3. 9’da yarı kırılğan damgalama için uygulanan saldırılardan sonra geri elde edilen damgalar görülmektedir. Şekil 3. 7’de de üç adet damga yerleştirilmiş olan damgalanmış görüntü görülmektedir. Bu yöntemle oluşan görüntüdeki bozulma bir önceki yönteme göre oldukça iyi durumdadır. Yarı kırılğan damgalama ile üç adet biyometrik veriyi gizleyebiliriz.



Şekil 3. 7 Üç adet biyometrik veri içeren damgalanmış görüntü

3.3 Kompleks Ridgelet Dönüşümü ile Damgalama

FRIT ile yapılan çalışmalar sonrasında karşılaştırma amaçlı aynı işlemler Kompleks Ridgelet dönüşümü (CFRIT) ile de yapılmıştır. CFRIT’te dalgacık fonksiyonu olarak Çift Ağaç Kompleks Dalgacık Dönüşümü (DTCWT) kullanılmıştır. [58]

DTCWT, DWT’nin bir türü olup, bu yöntemle karmaşık katsayılar elde edilir. Çift ağaç dalgacık filtreleri sayesinde katsayıların reel ve sanal kısımları elde edilir. Bu yöntemle elde edilen fonksiyonlar ve bulunan ölçek faktörleri Çizelge 3. 10’da gösterilmektedir. Elde edilen ölçek faktörleri oldukça yüksek çıkmıştır.

Çizelge 3. 10 DTCWT ile damgalama için bulunan modeller ve ölçek faktörleri

Kanal	Yapılan model	Ölçek faktörü
R	$-0,09621\alpha_1^3 + 1,554\alpha_1^2 - 10,25\alpha_1 + 19,79 = 0$	3,12453
G	$-0,09668\alpha_2^3 + 1,515\alpha_2^2 - 9,446\alpha_2 + 16,58 = 0$	2,76518
B	$-0,08415\alpha_3^3 + 1,380\alpha_3^2 - 9,077\alpha_3 + 17,02 = 0$	2,97954

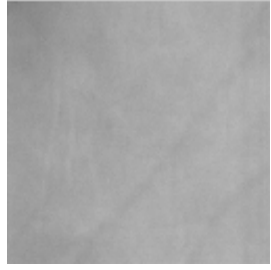
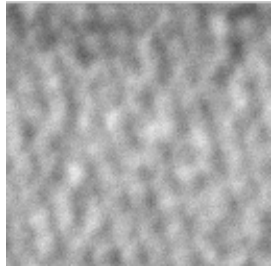
Çizelge 3. 11’da görüldüğü gibi CFRIT ile elde edilen görünmezlik performansı FRIT ile elde edilen değerlerden daha düşüktür. CFRIT ile yapılan uygulamada hem taşıyıcı görüntüdeki bozulma hem de saldırılar sonrası elde edilen görüntülerde bozulma oldukça fazla olmuştur.

Çizelge 3. 11 Kompleks Ridgelet dönüşümü ile yapılan damgalamanın görünmezlik performansı

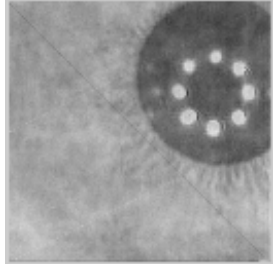
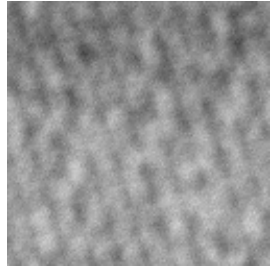
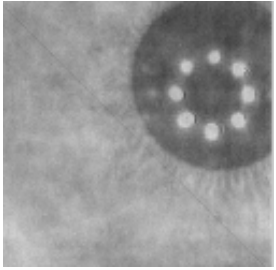
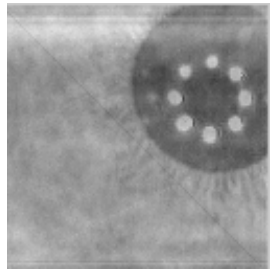
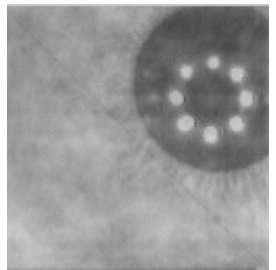
Taşıyıcı bileşen	PSNR	CC	Damgalanmış Görüntü
R	30,1126	0,9903	
G	18,8290	0,8053	
B	21,7630	0,8627	

Çizelge 3. 12, Çizelge 3. 13 ve Çizelge 3. 14’te CFRIT ile yapılan damgalama için uygulanan saldırılardan sonra geri elde edilen damgalar görülmektedir. Bu yöntemle saldırılar sonrası R kanalından geri elde edilen damgaların dayanıklılık performansı FRIT yönteminden daha iyi olmasına rağmen, G ve B kanallarından geri elde edilen damgaların dayanıklılık performansı FRIT yönteminden daha kötü çıkmıştır.

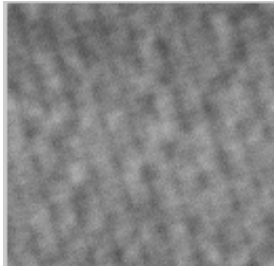
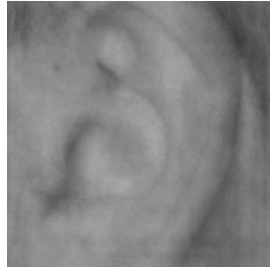
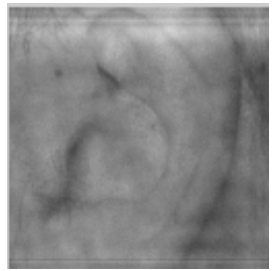
Çizelge 3. 12 R katına Kompleks ridgelet dönüşümüyle yapılan damgalamanın saldırılara karşı dayanıklılık performansı

R bileşeni için	PSNR	CC	Çıkarılan Damga
Tuz biber gürültüsü (d=0,002)	33,2085	0,9560	
Döndürme (-10 derece)	20,8608	0,1986	
JPEG sıkıştırma (Q=%70)	32,6911	0,9533	
Kırpma (Her taraftan 20 piksel)	31,4483	0,9516	
Yeniden ölçeklendirme (önce x2 sonra x0,5)	32,3741	0,9693	
Ortalama	30,11656	0,80576	

Çizelge 3. 13 G katına Kompleks ridgelet dönüşümüyle yapılan damgalamanın saldırılara karşı dayanıklılık performansı

G bileşeni için	PSNR	CC	Çıkarılan Damga
Tuz biber gürültüsü (d=0,002)	20,8568	0,9652	
Döndürme (-10 derece)	14,0313	0,2934	
JPEG sıkıştırma (Q=%70)	20,3739	0,9605	
Kırpma (Her taraftan 20 piksel)	16,5950	0,7205	
Yeniden ölçeklendirme (önce x2 sonra x0.5)	20,0951	0,9614	
Ortalama	18,3902	0,7802	

Çizelge 3. 14 B katına Kompleks ridgelet dönüşümüyle yapılan damgalamanın saldırılara karşı dayanıklılık performansı

B bileşeni için	PSNR	CC	Çıkarılan Damga
Tuz biber gürültüsü (d=0,002)	23,4813	0,9497	
Döndürme (-10 derece)	16,8495	0,1024	
JPEG sıkıştırma (Q=%70)	23,1557	0,9498	
Kırpma (Her taraftan 20 piksel)	18,3800	0,4995	
Yeniden ölçeklendirme (önce x2 sonra x0.5)	22,8008	0,9528	
Ortalama	20,93346	0,69084	

AYRIK CONTOURLET DÖNÜŞÜMÜ İLE DAMGALAMA

Üçüncü bölümde frekans dönüşümlerinden olan Sonlu Ridgelet dönüşümü ile çoklu biyometrik damgalama çalışmaları yapılmıştır. Yapılan uygulamalar sonucunda FRIT ile güçlü bir damgalama yapılamayacağı ancak yarı kırılğan damgalama için uygun olduğu görülmüştür. DWT'ye göre düz çizgilerin olduğu bölgelerde daha başarılı olması nedeniyle FRIT dönüşümü geliştirilmiştir. Contourlet dönüşümü ise kontör ve doku bölgelerinde daha başarılı olması nedeniyle geliştirilmiştir. FRIT'e göre daha yeni bir dönüşüm tekniğidir. Bu bölümde CT kullanılarak daha önce FRIT ile yapılan damgalama işlemlerinin aynısı yapılmıştır. Böylelikle çoklu biyometrik veri damgalama için FRIT ve CT yöntemlerinin performanslarının karşılaştırılması hedeflenmiştir. Çalışmalar sonucunda yaptığımız uygulama için, CT'nin de güçlü damgalama için kullanılamayacağı tespit edilmiştir. Yarı kırılğan damgalama için uygunluğuna bakıldığında ise FRIT'e göre daha düşük performans ile karşılaşılmıştır.

4.1 Ayrık Contourlet Dönüşümü

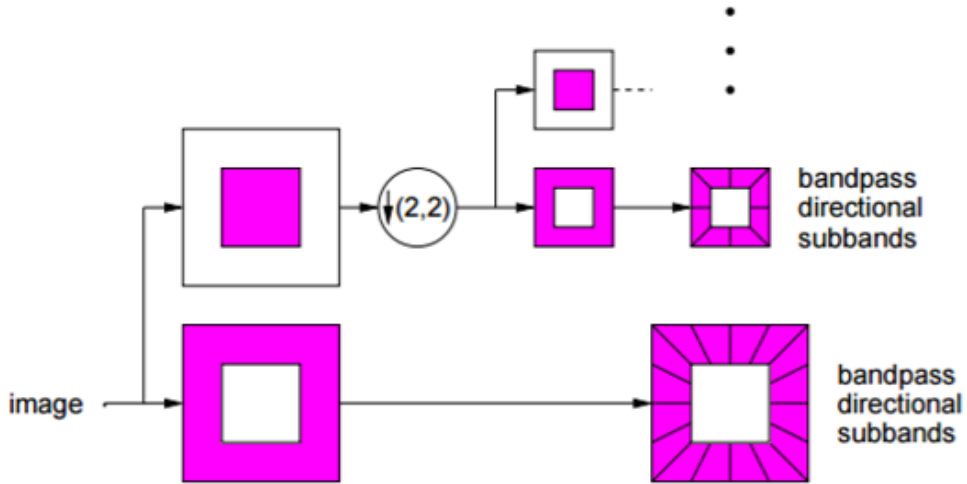
Günümüzde en çok kullanılan ve en iyi bilinen dönüşümlerden biri dalgacık dönüşümüdür. Dalgacık dönüşümü 1B sinyaller için oldukça başarılıdır. 2B dalgacık dönüşümü de iki farklı yöndeki 1B dalgacık dönüşümünün çarpımından oluşmaktadır. Bu şekilde yapılan 2B dönüşüm ile kenarlardaki süreksizlik oldukça iyi izole edilebilmektedir ancak kontörler üzerinde aynı etki görülmemektedir. Bu nedenlerden dolayı Do ve Vetterli Contourlet dönüşümünü geliştirmişlerdir [59].

Contourlet dönüşümü kontörler ve dokular içeren görüntüleri iyi bir şekilde temsil eden geometrik görüntü tabanlı bir dönüşümdür. Diğer frekans dönüşümleri öncelikle sürekli

alanda oluşturulup sonrasında ayrıklaştırılırken, Contourlet dönüşümü ayrık alanda başlar, sonrasında ise sürekli alanda bir yakınsama aşamasını içerir.

Bu dönüşüm, birbirinin yakınında olan dalgacık katsayılarının gruplanmasıyla oluşur. Çünkü kontörler pürüzsüz olduğundan bu katsayılar birbirleriyle ilişkilidir. Bunun için; öncelikle çok ölçekli dalgacık tipi bir fonksiyonla kenarlar bulunur, ardından ise kontörleri belirlemek için Hough dönüşümüne benzer yerel yönlü dönüşüm uygulanır. Böylelikle aynı ölçekteki birbirine yakın temel fonksiyonlar doğrusal yapıda bir araya getirilmiş olur.

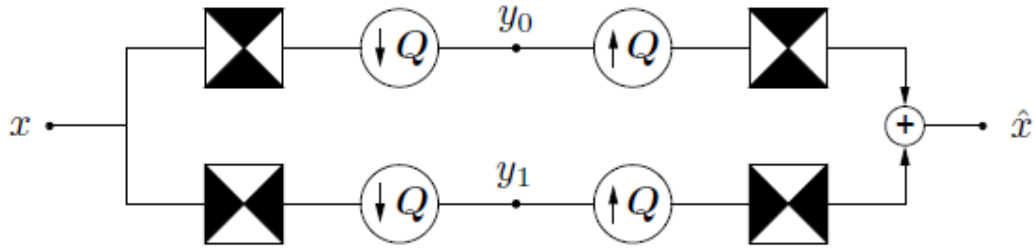
Ayrık Contourlet dönüşümü için, Do and Vetterli çift süzgeç öbeği yapısını önermişlerdir. Nokta süreksizliklerini yakalamak için Laplas Piramidi (LP) kullanılır, ardından ise Yönlü Süzgeç Öbeği kullanılarak nokta kesiklikleri doğrusal yapılara dönüştürülür.



Şekil 4. 1 Contourlet dönüşümü [59]

Görüntü LP'den geçirilerek bir adet alt örneklenmiş alçak geçiren versiyonu ve bir adet band geçiren versiyonu görüntü oluşturulur. Band geçiren versiyon, orijinal görüntü ile alçak geçiren versiyon arasındaki fark görüntüsüdür. Bir sonraki adımda ise daha önceki adımda oluşturulan alçak geçiren versiyonu görüntü kullanılarak yeniden bir alçak geçiren versiyon ve bir band geçiren versiyon görüntü oluşturulur. Bu işlem Contourlet dönüşümü için seçilen derece kadar devam eder. Dereceye J dersek son aşamada J adet band geçiren versiyon görüntü ve 1 adet alçak geçiren versiyon görüntü oluşmuş olur. Band geçiren görüntüler ise yönlü süzgeç öbeklerinden geçer ve band geçiren yönlü

görüntülere ayrılır. Bu durum Şekil 4. 1’de görülmektedir. Yönlü süzgeç öbeği Şekil 4. 2’de gösterildiği gibi iki bloktan oluşur. İlk blok kelebek filtrelerden oluşan iki kanallı quincunx süzgeç öbeğidir. 2B spektrum yatay ve dikey olmak üzere ayrılır. İkinci blok ise kesme operatöründen oluşur. Bu görüntü parçalarının yeniden sıralanmasını sağlar.



Şekil 4. 2 Yönlü Süzgeç Öbeği [59]

4.2 Ayrık Contourlet Dönüşümü ile Damgalama

Bu çalışmada Ridgelet dönüşümüyle yapılan çalışmanın aynısının Contourlet dönüşümüyle yapılması düşünülmüştür. Yani taşıyıcı görüntüdeki contourlet katsayıları üzerine damga verisi belli bir ölçek faktörüyle çarpılarak ve eşit aralıklarla dağıtılarak toplanmıştır.

Optimum ölçek faktörünü bulmak için kullanılan 5 adet saldırı için belirli katsayılarla güçlü damgalama için hesaplanan ölçek faktörleri ile damgalama işlemi yapılmıştır. Kullanılan uygunluk fonksiyonu Eşitlik 4.1’de verilmiştir.

$$F = PSNR_{görünmezlik} - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N PSNR_{dayanıklilik} \quad (4.1)$$

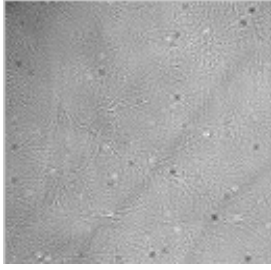
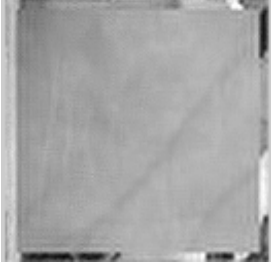
Bu uygunluk fonksiyonu için elde edilen modeller ve bulunan ölçek faktörleri Çizelge 4. 1’de verilmiştir.

Çizelge 4. 1 CT ile damgalama için bulunan modeller ve ölçek faktörleri

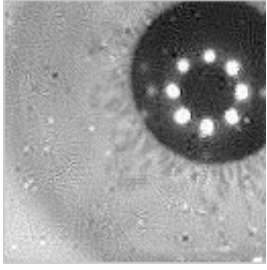
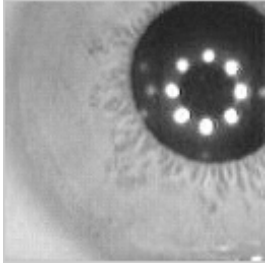
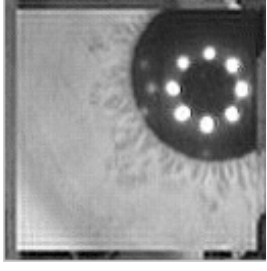
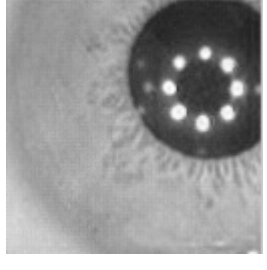
Kanal	Yapılan model	Ölçek faktörü
R	$-18,62\alpha_1^3 + 55,54\alpha_1^2 - 67,25\alpha_1 + 24,43 = 0$	0,60254
G	$-7,919\alpha_2^3 + 39,71\alpha_2^2 - 57,39\alpha_2 + 20,33 = 0$	0,52497
B	$-21,92\alpha_3^3 + 62,6\alpha_3^2 - 69,93\alpha_3 + 23,23 = 0$	0,54514

Sonuçlar incelendiğinde, bu çalışmada da damgalamanın aynen Ridgelet dönüşümündeki gibi tuz biber gürültüsü, kesme, yeniden ölçeklendirme ve JPEG sıkıştırma saldırılarına karşı dayanıklı ancak döndürme saldırısına karşı başarısız olduğu görülmüştür. Sonuçlar Çizelge 4. 2, Çizelge 4. 3 ve Çizelge 4. 4’te görülmektedir.

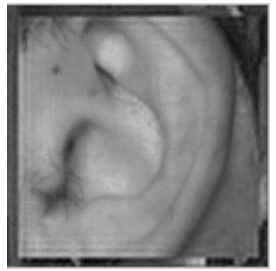
Çizelge 4. 2 R katına Contourlet dönüşümüyle yapılan damgalamanın saldırılara karşı dayanıklılık performansı

R bileşeni için	PSNR	CC	Çıkarılan Damga
Tuz biber gürültüsü (d=0,002)	27,9068	0,7786	
Döndürme (-10 derece)	7,5113	0,2484	
JPEG sıkıştırma (Q=%70)	42,7117	0,9894	
Kırpma (Her taraftan 20 piksel)	21,3404	0,3563	
Yeniden ölçeklendirme (önce x2 sonra x0,5)	34,4315	0,9426	
Ortalama	26,78034	0,66306	

Çizelge 4. 3 G katına Contourlet dönüşümüyle yapılan damgalamanın saldırılara karşı dayanıklılık performansı

R bileşeni için	PSNR	CC	Çıkarılan Damga
Tuz biber gürültüsü (d=0,002)	26,7434	0,9759	
Döndürme (-10 derece)	6,1032	-0,1298	
JPEG sıkıştırma (Q=%70)	40,5080	0,9990	
Kırpma (Her taraftan 20 piksel)	17,6181	0,8166	
Yeniden ölçeklendirme (önce x2 sonra x0.5)	30,4115	0,9957	
Ortalama	24,27684	0,73148	

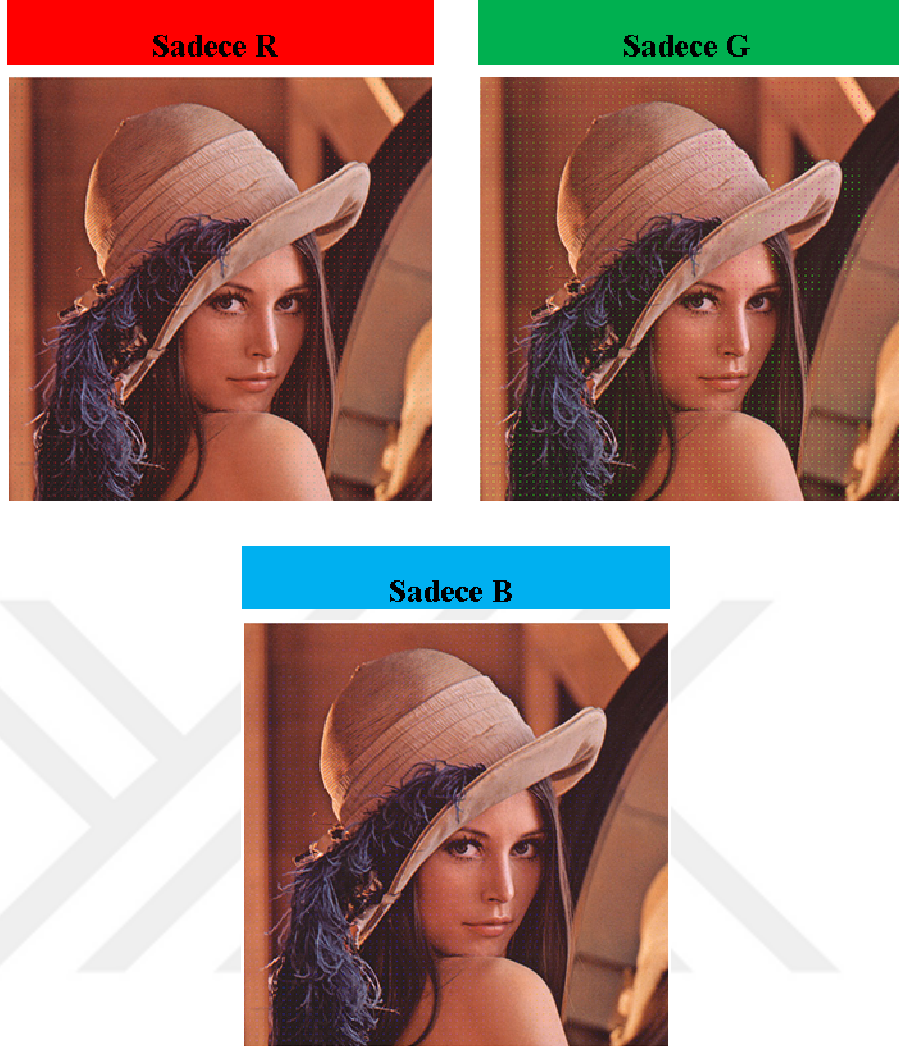
Çizelge 4. 4 B katına Contourlet dönüşümüyle yapılan damgalamanın saldırılara karşı dayanıklılık performansı

R bileşeni için	PSNR	CC	Çıkarılan Damga
Tuz biber gürültüsü (d=0,002)	27,0262	0,9518	
Döndürme (-10 derece)	8,4008	0,1177	
JPEG sıkıştırma (Q=%70)	41,5455	0,9982	
Kırpma (Her taraftan 20 piksel)	19,9920	0,7918	
Yeniden ölçeklendirme (önce x2 sonra x0.5)	32,3811	0,9936	
Ortalama	25,86912	0,77062	

Çizelge 4. 5 Contourlet dönüşümü ile yapılan damgalamanın görünmezlik performansı

Taşıyıcı bileşen	PSNR	CC	Damgalanmış Görüntü
R	26,7589	0,9790	
G	24,2094	0,9308	
B	25,8138	0,9331	

Contourlet dönüşümüyle yapılan damgalamanın görünmezlik performansına ait değerler ise Çizelge 4. 5’de görülmektedir. RGB görüntü içine sadece tek bir kanala damga yerleştirilse bile taşıyıcı görüntü deforme olmaktadır. Bu uygulamanın görünmezlik için istenen şartları taşımadığı Şekil 4. 3’de görülmektedir. Hem taşıyıcı görüntünün bozulmuş olması, hem de döndürme saldırısı karşısında elde edilen düşük performans nedeniyle bu uygulama güçlü damgalama için kullanılamaz.



Şekil 4. 3 Contourlet dönüşümüyle elde edilen damgalanmış görüntüler

Döndürme saldırısındaki başarısızlık nedeniyle bu yöntemin yarı kırılğan olarak değerlendirilmesi düşünülmüştür. Yarı kırılğan damgalama için kullanılan yeni fonksiyon Eşitlik 4.2’de verilmiştir.

$$F = PSNR_{görünmezlik} - \frac{1}{N1 + N2} \left(\sum_{i=1}^{N1} PSNR_{i,dayanıklilik} + \sum_{j=1}^{N2} (60 - PSNR_{j,dayanıklilik}) \right) \quad (4.2)$$

Burada N1 damgalamanın dayanıklı olması istenen saldırı sayısını, N2 ise damgalamanın kırılğan olması istenen saldırı sayısını gösterir. Bu uygulama için N1=4 ve N2=1’dir.

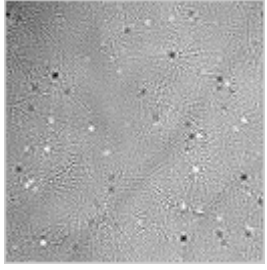
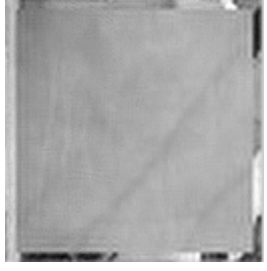
Burada; N1 damgalamanın dayanıklı olması istenen saldırı sayısını, N2 ise damgalamanın kırılğan olması istenen saldırı sayısını gösterir. Bu uygulama için N1=4 ve N2=1'dir. Yarı kırılğan damgalama için yapılan modeller ve elde edilen ölçek faktörleri Çizelge 4. 6'da verilmiştir.

Çizelge 4. 6 CT ile Yarı kırılğan damgalama için bulunan modeller ve ölçek faktörleri

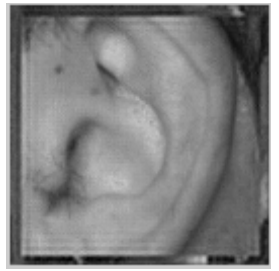
Kanal	Yapılan model	Ölçek faktörü
R	$-81,69\alpha_1^3 + 138,9\alpha_1^2 - 98,30\alpha_1 + 20,45 = 0$	0,60254
G	$-370\alpha_2^3 + 381,4\alpha_2^2 - 161,1\alpha_2 + 19,88 = 0$	0,19917
B	$-292,8\alpha_3^3 + 334,5\alpha_3^2 - 155\alpha_3 + 21,70 = 0$	0,33611

Yarı kırılğan damgalama için elde edilen dayanıklılık performansı Çizelge 4. 7, Çizelge 4. 8 ve Çizelge 4. 9'da görülmektedir. Görünmezlik performansına ait değerler ise Çizelge 4. 10'da verilmiştir.

Çizelge 4. 7 R katına Contourlet dönüşümüyle yapılan yarı kırılğan damgalamanın saldırılara karşı dayanıklılık performansı

R bileşeni için	PSNR	CC	Çıkarılan Damga
Tuz biber gürültüsü (d=0,002)	23,3640	0,5911	
Döndürme (-10 derece)	2,4538	0,2092	
JPEG sıkıştırma (Q=%70)	42,0170	0,9876	
Kırpma (Her taraftan 20 piksel)	21,3357	0,3559	
Yeniden ölçeklendirme (önce x2 sonra x0,5)	32,6955	0,9119	

Çizelge 4. 9 B katına Contourlet dönüşümüyle yapılan yarı kırılğan damgalamanın saldırılara karşı dayanıklılık performansı

R bileşeni için	PSNR	CC	Çıkarılan Damga
Tuz biber gürültüsü (d=0,002)	19,1776	0,7832	
Döndürme (-10 derece)	3,0518	0,0935	
JPEG sıkıştırma (Q=%70)	40,4554	0,9976	
Kırpma (Her taraftan 20 piksel)	19,9850	0,7914	
Yeniden ölçeklendirme (önce x2 sonra x0,5)	29,1394	0,9749	

Çizelge 4. 10 Contourlet dönüşümü ile yapılan damgalamanın görünmezlik performansı

Taşıyıcı bileşen	PSNR	CC	Damgalanmış Görüntü
R	31,8290	0,9935	
G	32,6276	0,9896	
B	33,1645	0,9871	

Ancak bu şekilde elde edilen damgalanmış görüntüler de oldukça başarısızdır.

Yarı kırılğan olarak yapılan damgalamada görünmezlik performansı oldukça yükselmiştir ancak hala daha R ve G katlarına yerleştirilen damga taşıyıcı resmi az da olsa bozmaktadır (Şekil 4. 4). B katına yerleştirilen damga ise sorunsuz bir şekilde taşınabilir. FRIT ile karşılaştırılırsa Ridgelet yöntemi ile yapılan damgalamanın daha başarılı olduğu görülür.

Sadece R



Sadece G



Sadece B



Şekil 4. 4 Contourlet dönüşümüyle yarı kırılğan damgalama sonucunda elde edilen damgalanmış görüntüler

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tezde çoklu biyometrik verinin RGB taşıyıcı görüntü içerisine gömülerek saklanması amacıyla çalışmalar yürütülmüştür. Bu amaçla öncelikle literatür araştırması yapılmıştır. Damgalama işleminin uzaysal alanda ya da frekans alanında yapılabileceği görülmüştür. Uzaysal alanda kullanılan yöntemlerden Tekil Değer Ayrışımı (SVD) yönteminin başarılı olması nedeniyle, bu yöntemin çoklu biyometrik verilerin saklanması amacıyla kullanılabileceği düşünülmüştür. Frekans alanında kullanılan yöntemlerden ise Ayrık Ridgelet Dönüşümü (FRIT) ve Contourlet Dönüşümü(CT) ile benzer çalışmalar olmaması nedeniyle, bu yöntemlerle çalışılmaya karar verilmiştir. Yapılan bütün çalışmalarda RGB taşıyıcının R kanalına avuç içi görüntüsü, G katına iris görüntüsü ve B katına kulak görüntüsü yerleştirilmiştir.

İlk olarak SVD yöntemi kullanılarak üç farklı uygulama yapılmış, damgaların taşıyıcı görüntü içerisinde hangi bölgelere gizlenmesi gerektiği ve hangi yapıda bir fonksiyon ile gizlenebileceği belirlenmiştir. Sonrasında ise ölçek faktörü değiştirilerek yapılan uygulamalar tekrarlanmış ve ölçek faktörünün, çoklu biyometrik veri damgalamadaki başarısını doğrudan etkilediği görülmüştür. Bu nedenle ölçek faktörünün optimizasyonu gerekmiştir. Optimizasyon yöntemi olarak iki farklı üç boyutlu iteratif optimizasyon yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemler Parçacık Sürü Optimizasyonu ve Spiral Optimizasyondur. Böylelikle üç kanala ait ölçek faktörleri aynı anda birbirleriyle ilişkili olarak bulunmuştur. Bunlara ek olarak her bir kanal için ayrı ayrı birbirinden bağımsız olarak doğru ölçek faktörünü seçmek için polinomsal yaklaşıklık ile modelleme yapılmıştır. Polinomsal yaklaşıklık ile optimizasyon R, G, B kanalları için aynı anda yapılamamakta her bir kanal için ayrı ayrı yapılabilmektedir. Polinomsal yaklaşıklık ve

iteratif yöntemler arasında görülen en temel fark budur. Bunun dışında elde edilen performanslar arasında görülen farklar daha çok uygunluk fonksiyonunun seçimiyle ilgilidir.

FRIT yöntemiyle yapılan çalışmalarda polinomsal yaklaşıklık ile ölçek faktörü belirlenmiştir. Modellemeler ilk olarak güçlü damgalama için yapılmıştır ancak döndürme saldırısına karşı performans az bulunması ve yeşil kanaldaki damganın taşıyıcı görüntüde belirgin bir bozulmaya yol açması nedeniyle güçlü damgalama için kullanılamayacağı görülmüştür. Yarı kırılğan damgalama için kullanılabileceği düşünülerek yeni bir uygunluk fonksiyonuyla damgalama işlemleri tekrarlanmıştır. Gerçekten de yarı kırılğan damgalama ile üç adet biyometrik veri başarılı şekilde taşıyıcı içine yerleştirilmiştir. CFRIT yönteminin görüntü temizleme amacıyla kullanıldığında FRIT'ten daha başarılı olduğu bilinmektedir, ancak bu konuda yapılan bir damgalama çalışması bulunamamıştır. Karşılaştırma amaçlı olarak CFRIT yöntemi ile de damgalama yapılmıştır ancak performans oldukça düşük olup damgalamaya uygun bulunmamıştır.

FRIT ile başarılı sonuçlar elde ettikten sonra daha yeni olan frekans dönüşümlerinden CT dönüşümü için güçlü damgalama ve yarı kırılğan damgalama çalışmaları yapılmıştır. CT yönteminin de güçlü damgalamaya uygun olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Yarı kırılğan damgalama sonuçları, güçlü damgalama sonuçlarına göre daha iyi olmakla beraber FRIT ile elde edilen başarıdan oldukça uzaktır. Yarı kırılğan damgalama için, FRIT ile üç adet biyometrik veri saklanabilirken, CT ile bir adet biyometrik veri saklanabilmiştir.

SVD güçlü çoklu biyometrik damgalama için en iyi yöntemdir ancak damgaların elde edilmesi aşamasında hem damgalanmış görüntüye, hem taşıyıcı görüntüye hem de damgalara ait U ve V bileşenlerine ihtiyaç vardır. FRIT ve CT ile damgalamada ise damgalanmış görüntüye ve taşıyıcı görüntüye gereksinim duyulmaktadır ancak damgalara hiçbir şekilde ihtiyaç yoktur. Yarı kırılğan damgalama için FRIT uygun bir yöntemdir.

KAYNAKLAR

- [1] AmCap [Computer software]. (2016). <https://amcap.tr.softonic.com/>.
- [2] Akter, A., Nur-E-Tajina ve Ullah, M. A., (2014). "Digital Image Watermarking Based on DWT-DCT: Evaluate for a New Embedding Algorithm", 3rd International Conference on Informatics, Electronics & Vision.IEEE, 23-24 May 2014, Dhaka.
- [3] Agarwal, P. ve Choudhary, A., (2014). "Protecting Video Data Through Watermarking: A Comprehensive Study", 5th International Conference-Confluence The Next Generation Information Technology Summit (Confluence) , India, 25-26 Sept. 2014, 657-662.
- [4] Raphael, A.J. ve Sundaram,V., (2011). "Cryptography and Stenography – A Survey", International Journal of Computer Technolohy Application, ISSN:2229-6093, 2(3):626-630.
- [5] Zifen, H., ve Yinhui, Z., (2014). "Digital Watermarking Algorithm Based on WLSMB Halftoning Image" Sixth International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation, 10-11 Jan. 2014, China: CPS.,267-270.
- [6] Kim, S.H. ve Allebach, J.P.,(1995). "Impact of HVS Models on Model-Based Halftoning", IEEE Transactions on Image Processing, 11(3):258-269.
- [7] Kaur, R., ve Jindal, S., (2014). "Robust Digital Image Watermarking in High Frequency Band Using Median Filter Function Based on DWT-SVD", Fourth International Conference on Advanced Computing & Communication Technologies, 8-9 Feb. 2014, India., 47-59.
- [8] Gonge, M. S. ve A.Ghatol, P., (2014). "Combined DWT-DCT Digital Watermarking Technique Software Used for CTS of Bank", International Conference on Issues and Challenges in Intelligent Computing Techniques (ICICT), 7-8 Feb. 2014, India, 776-783
- [9] Kakkirala, K. R. ve Chalamala, S. R., (2014). "Block Based Robust Blind Image Watermarking Using Discrete Wavelet Transform", 10th International Colloquium on Signal Processing & Its Applications (CSPA2014), 7-9 March 2014, Malaysia, 58-61.

- [10] Mohammed, G. N., Yasin, A. Ve Zeki, A. M., (2014). "Robust Image Watermarking Based on Dual Intermediate Significant Bit (DISB)" 6th International Conference on CSIT , 26-27 March 2014 , Jordan, 18-22.
- [11] Ibrahim, M. M., Kader, N. S. ve Zorkany, M., (2014). "A Robust Image Watermarking Technique Based On Image Interlacing" 31st National Radio Science Conference , 28-30 April 2014, Egypt, 92-98.
- [12] Maity, H. K., Maity, S. P., ve Bhattacharjee, T., (2014). "Prediction Based Reversible Watermarking with Contrast Modification" IEEE IPAS'14: International Image Processing Applications And Systems Conference 2014 , 5-7 Nov. 2014,Tunisia, 1-6.
- [13] Caciula, I., ve Coltuc, D., (2014). "Improved Control For Low Bit-Rate Reversible Watermarking", IEEE International Conference on Acoustic, Speech and Signal Processing (ICASSP), 4-9 May 2014. Italy, 7425-7429.
- [14] Jain, A. K. ve Uludag, U. (2003). "Hiding Biometric Data", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 25(11): 1494-1498 .
- [15] Satonaka, T., (2002). "Biometric Watermark Authentication with Multiple Verification Rule", Proceedings of the 12th IEEE Workshop on Neural Networks for Signal Processing, 6-6 Sept. 2002 , Martigny , 597-606.
- [16] Hashimoto, M. ve Nakamura, O., (2004). "Personal Identification Based On Both Facial Images and Watermarking Techniques in Network Environment" Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering 2004 (IEEE Cat. No.04CH37513), 2-5 May 2004, Canada, 1029-1033.
- [17] Vatsa, M., Singh, R., Mitra, P. ve Noore, A., (2004). "Digital Watermarking Based Secure Multimodal Biometric System", IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 10-13 Oct. 2004 , The Hague.
- [18] Zebbiche, K., Ghouti, L., Khelifi, F. ve Bouridane, A., (2006). "Protecting Finger Print Data Using Watermarking" First NASA/ESA Conference on Adaptive Hardware and Systems", İstanbul , 451-456.
- [19] Wang, J. ve Yuan, S. (2005)., "A Novel Security Mobile Payment System Based on Watermarked Voice Cheque", 2nd Asia Pacific Conference on Mobile Technology, Applications and Systems, Guangzhou, 4.
- [20] Mohanty, S. P., Adamo, O. B. ve Kougianos, E., (2007). "VLSI Architecture of an Invisible Watermarking Unit for a Biometric-Based Security System in a Digital Camera" Digest of Technical Papers International Conference on Consumer Electronics, 10-14 Jan. 2007, Las Vegas.
- [21] Aslantas, V., Dogan, A. L., ve Ozturk, S.,(2008). "DWT-SVD Based Image Watermarking Using Particle Swarm Optimizer", International Conference on Multimedia and Expo, 23 June-26 April 2008, Hannover.
- [22] Monamizadeh, M. ve Seyedin, S. A., (2009) "Optimal DWT-SVD Domain Image Watermarking Using Multi-Objective Evolutionary Algorithms", WRI World Congress on Computer Science and Information Engineering", 31 March-2 April 2009, Los Angeles, 3:259-263.
- [23] Golea, N. E. H. , Melkemi, K. E. ve Melkemi, M., (2011). "A Novel Multi-Objective Genetic Algorithm for Blind RGB Image Watermarking", Seventh

International Conference on Signal-Image Technology and Internet-Based Systems (SITIS), 28 Nov.-1 Dec. 2011, Dijon.

- [24] Modaghegh, H., Khosravi, H. ve Akbarzadeh-T, M.-R., (2009). "A New Adjustable Blind Watermarking Based on GA and SVD", International Conference on Innovations in Innovation Technology, 15-17 Dec. 2009, Al-Ain.
- [25] Golshan, F. ve Mohammadi, K., (2011). "A Hybrid Intelligent SVD-Based Digital Image Watermarking", 21st International Conference on Systems Engineering, 16-18 Aug. 2011, Las Vegas.
- [26] Rao, V. S., Shekhawat, R. S. ve Srivastava, V., (2012). "A DWT-DCT-SVD Based Digital Image Watermarking Scheme Using Particle Swarm Optimization", 1-2 March 2012, Bhopal.
- [27] Laha, S., Chowdhury, J., Khan, A. ve Sarkar, S. K., (2013). "A Watermarking Scheme Based on Singular Value Decomposition and Particle Swarm Optimization", 3rd International Advance Computing Conference, 22-23 Feb. 2013, Ghaziabad.
- [28] Ansari, I. A., Pant, M. ve Neri, F., (2014) "Analysis of gray scale watermark in RGB host using SVD and PSO" 2014 IEEE Symposium on Computational Intelligence for Multimedia, Signal and Vision Processing (CIMSIVP) , 9-12 Dec. 2014 , Orlando, 1-7.
- [29] Durga, K. V., Mamatha, G. ve Bindu, C. H., (2015). "SVD Based Image Watermarking with Firefly Algorithm", International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI), 8-10 Jan. 2015, Coimbatore.
- [30] Kishore, P.V.V., (2015). "Medical Image Watermarking with DWT-BAT Algorithm". 10.1109/SPACES.2015.7058263, 2-3 Jan. 2015, Guntur.
- [31] Ansari, A., Irshad & Pant, Millie & Ahn, Chang Wook., (2016). "ABC Optimized Secured Image Watermarking Scheme To Find Out The Rightful Ownership", Optik - International Journal for Light and Electron Optics. 127(14):5711-5721.
- [32] Aslantas, V., (2008). "Optimal SVD Based Robust Watermarking Using Differential Evolution Algorithm", Proceedings of the World Congress on Engineering 2008 Vol I, WCE 2008, July 2 - 4 2008, London.
- [33] Jain, C., (2015). "Watermarking Algorithm Using Bacterial Foraging Optimization", International Journal of Recent Research Aspects ISSN: 2349-7688, 2(1):128-131.
- [34] Steghrarzadeh, K. ve Gheneh, V., (2006). "Secure Video Watermarking Using Random Statistics and Combinatorial Optimization", 2nd International Conference on Information & Communication Technologies, 24-28 April 2006, Damascus.
- [35] Candes, E. J. ve Donoho, D. L., (1999) "Ridgelets: A Key to Higher-Dimensional Intermittency?", Phil. Trans. R. Soc. Lond. A., 2495-2509.
- [36] Do, M. N. ve Vetterli, M., (2003), "The Finite Ridgelet Transform For Image Representation," IEEE Transactions On Image Processing, 12(1):16-28

- [37] Xiao, L., H.-Z. Wu, H.-Z., Wei, Z.-H. ve Bao, Y. ,(2004) “Perceptual Digital Watermark Of Images Using Ridgelet Transform” Proceedings of 2004 International Conference on Machine Learning and Cybernetics, 2004., Vol. 6. IEEE, 2004, 26-29 Aug. 2004, Shanghai, 3937-3942.
- [38] Xiao, L., H.-Z. Wu, H.-Z., Wei, Z.-H. ve Bao, Y., (2005) “Research And Application Of A New Computational Model Of Human Vision System Based On Ridgelet Transform” Proceedings of 2005 International Conference on Machine Learning and Cybernetics, 2005., Vol. 6. IEEE, 2004, Guangzhou. 5170-5175.
- [39] Guo, S., Cao, H. ve Deng, C., (2008). “Content-Based Adaptive Watermarking Algorithm In Ridgelet Domain” International Conference on Audio, Language and Image Processing, 2008. ICALIP 2008. IEEE, 2008, Shanghai, 619-623.
- [40] Xie, Z., S. Wang, S., Gan, L., Zhang, L. ve Shu, Z., (2008) “Content Based Image Watermarking In The Ridgelet Domain,” International Symposium on Electronic Commerce and Security, 2008. IEEE, 2008, 7-9 July 2008, Guangzhou, 877-881.
- [41] Li, Y., Wang, S. ve Xie, Z., (2008) “A Local Watermarking Scheme In The Ridgelet Domain Combining Image Content and JND Model” International Conference on Computational Intelligence and Security (2), 2008, 13-17 Dec. 2008, Suzhou, 336-341.
- [42] Zhu, R. ve Wang, X., (2008) “Robust Watermarking Scheme In Finite Ridgelet Transform Domain” Pacific-Asia Workshop on Computational Intelligence and Industrial Application, 2008. PACIIA’08., Vol. 1. IEEE, 2008, 19-20 Dec. 2008, Wuhan, 588-592.
- [43] Edward, S., Sumathi, S. ve Ranihemamalini, R., (2011). “Person Authentication Using Multimodal Biometrics with Watermarking” International Conference on Signal Processing, Communication, Computing and Networking Technologies (ICSCCN), 2011. IEEE, 2011, 21-22 July 2011, Thuckafay, 100-104.
- [44] Kumaran, T. ve Thangavel, P. (2008). “Watermarking in Contourlet Transform Domain Using Genetic Algorithm” 2008 Second UKSIM European Symposium on Computer Modeling and Simulation, (257-262), Liverpool.
- [45] Yong, S., Wang, X. ve Ma, X., (2010) “Bi-Watermarking Algorithm Based on Contourlet” 2nd International Conference on E-business and Information System Security, 22-23 May 2010, Wuhan, 1-4.
- [46] Zhang, J., Yang, X. ve Xie, X., (2010) “Dual-Watermarking Algorithm Based On Contourlet” 2010 International Conference on Intelligent Control and Information Processing, 13-15 Aug. 2010, Dalian, 213-216.
- [47] Kumar, N. M., Manikandan, T. ve Sapthagirivasan, V., (2011). “Non Blind Image Watermarking Based On Similarity In Contourlet Domain” 2011 International Conference on Recent Trends in Information Technology (ICRTIT), 3-5 June 2011, Chennai, 1277-1282.
- [48] Kaviani, H.R., Karimi, N. ve Samavi, S. (2011). “Robust Watermarking in Singular Values of Contourlet Coefficients” 2011 7th Iranian Conference on Machine Vision and Image Processing, (1-5), Tehran.

- [49] Duong, D. M. ve Duong, D. A., (2012). "A New Secure and High Capacity Watermaking Scheme Based on Contourlet Transform" 2012 Eighth International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, 18-20 July 2012, Piraeus, 355-358.
- [50] Zhu, D. ve Tong, Q., (2012). "A New Image Watermarking Algorithm Using CT and Normalization" 2012 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC), 14-17 Oct. 2012, Seoul, 3239-3244.
- [51] Kishore Kumar, N.K. ve Sheeba, V.S., (2012). "Blind Biometric Watermarking Based On Contourlet Transform" 2012 Third International Conference on Computing Communication & Networking Technologies (ICCCNT), 26-28 July 2012, Coimbatore, 1-6.
- [52] CASIA, Casia palmprint database, <http://biometrics.idealtest.org/>. [Online]. Available: <http://biometrics.idealtest.org/>
- [53] CASIA. (2010) Casia iris database, <http://biometrics.idealtest.org/>. [Online]. Available: <http://biometrics.idealtest.org/>
- [54] AMI, "Ami ear database, <http://biometrics.idealtest.org/>." [Online]. Available: <http://www.ctim.es/researchworks/ami ear database/>
- [55] Tamura, K. ve Yasuda, K., (2011). "Spiral Optimization-A New Multipoint Search Method", International Conference on systems, Man and Cybernetics (SMC), 9-12 Oct. 2011, Anchorage, 1759-1764.
- [56] Tamura, K. ve Yasuda, K., (2011). "Spiral Multipoint Search for Global Optimization", International Conference on Machine Learning and Applications and Workshops (ICMLA), 18-21 Dec. 2011, Honolulu, 470-475.
- [57] Kennedy, J. ve Eberhart, R., (1995). "Particle Swarm Optimization", International Conference on Neural Networks, 27 Nov.-1 Dec. 1995, Perth.
- [58] Bo, C., Zexun, G., Yang, Y. ve Tianshuang, S., (2007). "Dual-tree Complex Wavelets Transforms for Image Denoising" Eighth ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking, and Parallel/Distributed Computing (SNPD 2007), 30 July-1 Aug. 2007, Qingdao, 70-74.
- [59] Do, M. N. ve Vetterli, M., (2005), "The Contourlet Transform: An Efficient Directional Multiresolution Image Representation" IEEE Transactions on Image Processing, 14(12):2091-2106.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Aysun TUTAK ERÖZEN
Doğum Tarihi ve Yeri :12.08.1983, Bursa
Yabancı Dili :İngilizce
E-posta :aysun_tutakerozen@outlook.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Elk.-Elkt. Müh.	Dokuz Eylül Üniversitesi	2009
Lisans	Elk.-Elkt. Müh.	Dokuz Eylül Üniversitesi	2005
Lise	Anadolu	Bursa Gazi Anadolu Lisesi	2001

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2012 - ...	Arçelik A.Ş.	Arge Uzmanı
2008 - 2012	Türk Telekom A.Ş.	DC Enerji Sistemleri Müh.
2005 - 2008	Vestel A.Ş.	Kalite Güvence Uzmanı

YAYINLARI

Makale

1. Erözen A. ve Kahraman N. (2018). “Scale Factor Optimization for a Robust Multi-Biometric Watermarking” , International Journal of Electrical Electronics & Computer Science Engineering, 5(1):124-133.

Bildiri

1. Erözen A. ve Kahraman N. (2017). "Multi-biometric Watermarking Based on SVD and 3D Spiral Optimization", ICTACSE 2017 - International Conference on Theoretical and Applied Computer Science and Engineering, 10-11 Nov. 2017, Ankara