

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SABİT GÖRÜNTÜLER VE VIDEO İŞARETLERİ İÇİN
AYRIK DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ
AYRIK KOSİNÜS DÖNÜŞÜMÜ TABANLI
SAYISAL DAMGALAMA YÖNTEMİ**

Haberleşme Yük. Müh. Serkan EMEK

**FBE Elektronik ve Haberleşme Anabilim Dalı Haberleşme Programında
Hazırlanan**

DOKTORA TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Metin YÜCEL

İSTANBUL, 2006

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SABİT GÖRÜNTÜLER VE VIDEO İŞARETLERİ İÇİN
AYRIK DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ
AYRIK KOSİNÜS DÖNÜŞÜMÜ TABANLI
SAYISAL DAMGALAMA YÖNTEMİ**

Haberleşme Yük. Müh. Serkan EMEK

**FBE Elektronik ve Haberleşme Anabilim Dalı Haberleşme Programında
Hazırlanan**

DOKTORA TEZİ

Tez Savunma Tarihi : 27 Şubat 2006
Tez Danışmanı : Prof. Metin YÜCEL (YTÜ)
Tez Jürisi : Prof. Dr. Melih PAZARCI (İTÜ)
Prof. Dr. Fikret GÜRGEN (BÜ)
Doç. Dr. Tülay YILDIRIM (YTÜ)
Yrd. Dç. Dr. Ünal KÜÇÜK (YTÜ)

İSTANBUL, 2006

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÇİZELGE LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ	1
1.1 İçerik Koruma İhtiyacı	1
1.2 İçerik Koruma Teknolojileri	2
1.3 Sayısal Damgalama Yöntemleri	5
1.4 Tez Düzeni	7
1.5 Sonuç	7
2. SAYISAL DAMGALAMA SİSTEMLERİ	8
2.1 Sayısal Damgalama Sistemi Modeli	8
2.1.1 Damga Ekleme	8
2.1.2 Damga Algılama/Çıkarma	9
2.1.3 Algılama Olasılıkları	11
2.2 Sayısal Damgalama Sistemlerinin Karakteristik Özellikleri	14
2.3 Sonuç	16
3. SAYISAL DAMGALAMA YÖNTEMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI VE ANALİZİ	17
3.1 Sayısal Damgalama Yöntemlerinin Sınıflandırılması	17
3.1.1 Algılanabilirliğe Göre Sınıflandırma	18
3.1.2 Dayanıklılığa Göre Sınıflandırma	18
3.1.3 Eklenen Damga Tipine Göre Sınıflandırma	19
3.1.4 Damga Algılama/Çıkarma İşlemindeki Veri Gereksinimlerine Göre Sınıflandırma	20
3.2 Çoklu Ortamlar İçin Damgalama Yöntemleri	20
3.2.1 Metin Damgalama	20
3.2.2 Ses Damgalama	21
3.2.3 Görüntü, Grafik ve Video Damgalama	22
3.3 Uzamsal ve Frekans Boyutlarında Damgalama Yöntemleri	23
3.3.1 Uzamsal Boyutta Görüntü Damgalama	23
3.3.2 Frekans Boyutunda Görüntü Damgalama	26

3.4	Frekans Boyutunda Sayısal Görüntü Damgalama Yöntemlerinin Analizi.....	26
3.4.1	Ayrık Forier Dönüşümü Tabanlı Görüntü Damgalama.....	27
3.4.2	Ayrık Kosinüs Dönüşümü Tabanlı Görüntü Damgalama	27
3.4.3	Ayrık Dalgacık Dönüşümü Tabanlı Görüntü Damgalama	32
3.4.4	ADD Dönüşümüne Kaskad Frekans Dönüşümü Uygulayarak Görüntü Damgalama	35
3.4.5	ADD-AKD Tabanlı Görüntü Damgalama.....	37
3.5	Sonuç	38
4.	AYRIK DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ – AYRIK KOSİNÜS DÖNÜŞÜMÜ TABANLI SAYISAL DAMGALAMA YÖNTEMİ	39
4.1	Ayrık Dalgacık Dönüşümü Tabanlı Damgalama	39
4.1.1	Ayrık Dalgacık Dönüşümü	39
4.1.2	ADD Tabanlı Damgalamada Damga Olarak Logo Görüntü Kullanılması.....	43
4.1.3	ADD Tabanlı Damgalamada Damga Olarak Rastlantısal İşaret Kullanılması.....	44
4.2	Ayrık Dalgacık Dönüşümü – Ayrık Kosinüs Dönüşümü Tabanlı Damgalama	46
4.2.1	Ayrık Kosinüs Dönüşümü	46
4.2.2	Toplamsal Damgalama: Damga İşaretinin ADD-AKD Katsayılarına Eklenmesi	47
4.2.3	2B Maskeleye: Orta Frekans AKD Katsayılarının Maskeyle Seçilmesi.....	48
4.2.4	Toplamsal Damganın Algılanması	49
4.2.5	Görüntü Bağımlı Damgalama.....	50
4.2.6	Görüntü Bağımlı Damganın Algılanması.....	51
4.3	ADD-AKD Katsayılarının Modellenmesi	53
4.4	Video İşaretlerinin ADD-AKD Yöntemiyle Damgalama ve Damganın Algılanması.....	55
4.4.1	MPEG-2 Video İşaretlerinin Damgalanması ve Damganın Algılanması.....	55
4.4.2	MPEG-4 Video İşaretlerinin Damgalanması ve Damganın Algılanması.....	57
4.5	Sonuç	57
5.	BENZETİMLER VE SONUÇLAR.....	58
5.1	Benzetimlerde Kullanılan Ölçütler	58
5.1.1	Başarım Ölçütleri.....	58
5.1.2	Karşılaştırmalı Sınama Test Sistemi.....	59
5.2	Benzetim Sonuçları.....	60
5.2.1	ADD Tabanlı Damgalama ve Damga Algılama Sonuçları.....	60
5.2.2	ADD-AKD Tabanlı Damgalamada Katsayı Seçme Maskelerinin Etkisi	60
5.2.3	ADD-AKD Tabanlı Görüntü Bağımlı Damgalama ve Damga Algılama Sonuçları.....	61
5.2.4	AKD-ADD Tabanlı Toplamsal Damgalama ve Damga Algılama Sonuçları.....	67
5.2.5	ADD-AKD Tabanlı Damga Algılamada Karşılaştırmalı Sınama Test Sistemi Sonuçları	69
5.2.6	MPEG-2 Video İşaretleri İçin Damgalama ve Damga Algılama Sonuçları.....	71
5.2.7	MPEG-4 Video İşaretleri İçin Damgalama ve Damga Algılama Sonuçları.....	72
5.3	Sonuç ve Öneriler	72
	KAYNAKLAR.....	74
	ÖZGEÇMİŞ.....	79

SİMGE LİSTESİ

$C(k,l)$	Kosinüs dönüşüm katsayıları
G_0	ADD alt bant birleşiminde kullanılan düşük frekans ayna süzgeci
G_1	ADD alt bant birleşiminde kullanılan yüksek frekans ayna süzgeci
H_0	ADD alt bant ayrışımında kullanılan düşük frekans ayna süzgeci
H_1	ADD alt bant ayrışımında kullanılan yüksek frekans ayna süzgeci
I	Asıl görüntü
$I(x,y)$	Uzamsal boyutta asıl görüntü
$I_{Bl}(u,v)$	ADD boyutunda B bandı ve l seviyesindeki alt bant görüntüsü
$I_{Bl}(k,l)$	AKD boyutunda B bandı ve l seviyesindeki alt bant görüntüsün AKD dönüşümü
$I_{BlW}(u,v)$	ADD boyutunda B bandı ve l seviyesindeki damgalanmış alt bant görüntüsü
$I_{BlW}(k,l)$	AKD boyutunda B bandı ve l seviyesindeki damgalanmış alt bant görüntüsün AKD dönüşümü
I_D	Düşey alt bant görüntüsü
I_K	Köşegensel alt bant görüntüsü
I_T	Temel alt bant görüntüsü
I_Y	Yatay alt bant görüntüsü
I_W	Damgalanmış görüntü
$I_W(x,y)$	Uzamsal boyutta damgalanmış görüntü
kr	Damga algılama kararı
P_{DO}	Damgalama olmadığını doğru algılama olasılığı
P_{DA}	Damgayı doğru algılama olasılığı
P_{PH}	Pozitif hata
P_{NH}	Negatif hata
R_{IwW}	Benzerlik ilişkisi
$R_{IwW}(x,y)$	Uzamsal boyutta benzerlik ilişkisi
$R_{IwW}(u,v)$	ADD boyutunda benzerlik ilişkisi
$R_{IwW}(k,l)$	AKD boyutunda benzerlik ilişkisi
sm	Damgalama olmadığı durumda benzerlik ölçümü
sm_W	Damgalama olduğu durumda benzerlik ölçümü
sm_D	Düşey bileşen için benzerlik ölçümü
sm_Y	Yatay bileşen için benzerlik ölçümü
sm_{OD}	Düşey bileşenler için ortalama benzerlik ölçümü
sm_{OY}	Yatay bileşenler için ortalama benzerlik ölçümü
th	Eşik değeri
W	Damga işareti
$W(x,y)$	Uzamsal boyutta damga işareti
$W(u,v)$	ADD boyutunda damga işareti
$W(k,l)$	AKD boyutunda damga işareti
$Q(x)$	Hata fonksiyonu

KISALTMA LİSTESİ

ADD	Ayrık Dalgacık Dönüşümü
AKD	Ayrık Kosinüs Dönüşümü
AFD	Ayrık Fourier Dönüşümü
DCT	Discrete Cossine Transform
DFT	Discrete Fourier Trasform
DMCA	Digital Millenium Copyright Act
DVA	(Öz)Değer (Öz)Vektör Ayrışımı
DWT	Discretete Wavelet Transform
EBB	En Büyük Benzerlik
EZW	Embedded Zero-Tree Wavelet
GBOT	Genelleştirilmiş Benzerlik Oran Testi
GLRT	Generalized Likelihood Ratio Test
GOP	Group of Pictures
IDCT	Inverse Discrete Cossine Transform
IDWT	Inverse Discretete Wavelet Transform
IFPI	International Federation for Phonographic Industry
IIPA	International Intellectual Property Alliance
ISBN	Intenational Standart Book Numbering
ISRC	International Standart Recording Code
JND	Just Noticiable Distortion
JPEG	Joint Picture Expert Group
JPEG-2	JPEG tarafından hazırlanmış AKD tabanlı görüntü sıkıştırma formatı
JPEG2000	JPEG tarafından hazırlanmış ADD tabanlı görüntü sıkıştırma formatı
LSB	Leaset Significant Bit
ML	Maksimum Likelihood
MPEG	Moving Picture Expert Group
MPEG-2	MPEG tarafından hazırlanmış AKD tabanlı video sıkıştırma formatı
MPEG-4	MPEG tarafından hazırlanmış AKD veya ADD tabanlı video sıkıştırma formatı
MSB	Most Significant Bit
NMSE	Normalized Mean Square Error
NPSNR	Normalized Peak to Peak Signal to Noise Ratio
OYF	Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu
ÖOKH	Ölçeklendirilmiş Ortalama Karesel Hata
ÖTIGO	Ölçeklendirilmiş Tepeden Tepeye İşaret Gürültü Oranı
PDF	Probability Density Function
PSNR	Peak to Peak Signal to Noise Ratio
SVD	Singular Value Decomposition
TADD	Ters Ayrık Dalgacık Dönüşümü
TAKD	Ters Ayrık Kosinüs Dönüşümü

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Simetrik şifreleme sistemi blok yapısı	3
Şekil 1.2 Simetrik olmayan şifreleme sistemi blok yapısı	4
Şekil 1.3 Damgalama ve şifreleme teknolojilerinin tümleşik kullanımı	4
Şekil 1.4 Sayısal damgalama sisteminin blok yapısı	5
Şekil 2.1 Sayısal damgalama sisteminin temel bileşenleri	8
Şekil 2.2 Sayısal damgalama sisteminin blok yapısı	9
Şekil 2.3 Damgalanmış görüntü ve damga işareti kullanılarak damga algılama blok yapısı ...	10
Şekil 2.4 Asıl ve damgalanmış görüntü ve damga işareti kul. damga algılama blok yapısı	10
Şekil 2.5 Damga içeren ve içermeyen işaretlerin ilişki tabanlı benzerlik grafiği	11
Şekil 2.6 Olasılık yoğunluk fonksiyonları yardımıyla algılama olasılıkları ve algılama hata olasılıklarının gösterilmesi	12
Şekil 2.7 Sayısal damgalama sisteminin karakteristik özelliklerinin etkileşimi	15
Şekil 3.1 En düşük anlamlı bite damga ekleme ve algılama işleminin grafiksel anlatımı	24
Şekil 3.2 JPEG kodlayıcı blok yapısı	28
Şekil 3.3 JPEG kod çözücü blok yapısı	28
Şekil 3.4 AKD'de DC katsayı ve AC katsayıları	28
Şekil 3.5 8x8 blok için AKD katsayılarının zigzag olarak sıralanması	29
Şekil 3.6 JPEG 2000 kodlayıcı blok yapısı	32
Şekil 3.7 JPEG 2000 kod çözücü blok yapısı	33
Şekil 3.8 "Embedded Zero-Tree Wavelet kodlama yapısı, alt band ayrışımı için tarama sırası	33
Şekil 4.1 ADD bileşenlerinin frekans bölgeleri	40
Şekil 4.2 ADD kullanılarak tek seviyeli görüntü ayrıştırma işlemi	41
Şekil 4.3 ADD kullanılarak tek seviyeli görüntü birleştirme işlemi	41
Şekil 4.4 Dört seviyeli Ayrık Dalgacık Dönüşümü alt bantları	42
Şekil 4.5 Bir görüntünün aslı, birinci ve ikinci seviyeden ADD alt bant görüntüleri	42
Şekil 4.6 ADD tabanlı damgalama işlemi	43
Şekil 4.7 ADD tabanlı damga algılama işlemi	44
Şekil 4.8 Sözde rastlantısal damga kullanan ADD tabanlı damgalama işlemi	44
Şekil 4.9 Sözde rastlantısal damga kullanan ADD tabanlı damga algılama işlemi	45
Şekil 4.10 ADD-AKD tabanlı toplamsal damgalama işlemi	47
Şekil 4.11 İki boyutlu katsayı seçme maskeleri	48
Şekil 4.12 ADD-AKD tabanlı toplamsal damga algılama işlemi	49
Şekil 4.13 AKD-ADD tabanlı görüntü bağımlı damgalama işlemi	50
Şekil 4.14 AKD-ADD tabanlı görüntü bağımlı damga algılama işlemi	52
Şekil 4.15 Asıl görüntü ve damgalanmış görüntü işaretine ait OYF'ler	54
Şekil 4.16 MPEG-2 iletim dizisi I, P veya B çerçevelerinden birinin damgalanması	55
Şekil 4.17 Kodu çözülmüş MPEG-2, I çerçevelerinin damgalanması	56
Şekil 5.1 ADD tabanlı damgalamada kullanılan Lenna görüntüleri	60
Şekil 5.2 İki boyutlu katsayı seçme maskeleri	61
Şekil 5.3 IV. seviye, düşey (a) I. maske (b) II. maske etkisi	61
II. seviye, yatay (a) I. maske (b) II. maske etkisi ÖTİGO $\approx$ 30dB	61
Şekil 5.4 Asıl ve damgalanmış Lenna görüntüleri (çekirdek=654, II. seviye, düşey, k=2.0, ÖOKH=2.52E-05, ÖTİGO=46,01 dB) ve iki görüntüye ait histogramlar	62
Şekil 5.5 Damgalanmış Lenna görüntüleri (çekirdek=654)	
(a) I. seviye, yatay, k=3.0, ÖOKH=6.06E-05, ÖTİGO=42,12 dB	
(b) II. seviye, düşey, k=2.0, ÖOKH=2.52E-05, ÖTİGO=46,01 dB	
(c) III. seviye, yatay, k=1.0, ÖOKH=7.75E-07, ÖTİGO=61,11 dB	
(d) IV. seviye, düşey, k=1.0, ÖOKH=1.40E-04, ÖTİGO=38,54 dB	63

Şekil	5.6	Damgalanmış Baboon görüntüleri (çekirdek=654)	
	(a)	I. seviye, düşey, $k=1.7$, $\ddot{O}OKH=1.51E-05$, $\ddot{O}T\grave{I}GO=48,20$ dB	
	(b)	II. seviye, yatay, $k=1.7$, $\ddot{O}OKH=7.68E-05$, $\ddot{O}T\grave{I}GO=41,15$ dB	
	(c)	III. seviye, düşey, $k=1.7$, $\ddot{O}OKH=1.31E-05$, $\ddot{O}T\grave{I}GO=48,83$ dB	
	(d)	IV. seviye, yatay, $k=1.7$, $\ddot{O}OKH=7.11E-06$, $\ddot{O}T\grave{I}GO=51,48$ dB.....	64
Şekil	5.7	Damgalanmış Boat görüntüleri (çekirdek=654)	
	(a)	I. seviye, yatay, $k=2.0$, $\ddot{O}OKH=3.02E-05$, $\ddot{O}T\grave{I}GO=45,20$ dB	
	(b)	II. seviye, yatay, $k=2.0$, $\ddot{O}OKH=8.24E-06$, $\ddot{O}T\grave{I}GO=50,84$ dB	
	(c)	III. seviye, düşey, $k=1.7$, $\ddot{O}OKH=7.53E-06$, $\ddot{O}T\grave{I}GO=51,23$ dB	
	(d)	IV. seviye, düşey, $k=1.7$, $\ddot{O}OKH=1.22E-04$, $\ddot{O}T\grave{I}GO=39,14$ dB.....	65
Şekil	5.8	Damgalanmış Peppers görüntüleri (çekirdek=654)	
	(a)	I. seviye, düşey, $k=1.0$, $\ddot{O}OKH=3.05E-06$, $\ddot{O}T\grave{I}GO=54,18$ dB	
	(b)	II. seviye, düşey, $k=1.0$, $\ddot{O}OKH=1.14E-05$, $\ddot{O}T\grave{I}GO=49,45$ dB	
	(c)	III. seviye, yatay, $k=1.0$, $\ddot{O}OKH=9.82E-07$, $\ddot{O}T\grave{I}GO=60,08$ dB	
	(d)	IV. seviye, yatay, $k=1.0$, $\ddot{O}OKH=1.46E-05$, $\ddot{O}T\grave{I}GO=48,37$ dB.....	66
Şekil 5.8 15 ° döndürülmüş Baboon ve -0,5 ° döndürülmüş ve ölçeklenmiş Peppers görüntüleri70			

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 1.1 2004 yılında ABD’de yasal olmayan kullanımdan kay. tahmini ticari kayıp	2
Çizelge 3.1 Sayısal damgalama yöntemlerinin sınıflandırılma ölçütleri.....	17
Çizelge 3.2 Algılanabilirliğe göre sayısal damgalama yöntemleri.....	18
Çizelge 3.3 Eklenen damga türüne göre sayısal damgalama yöntemleri	19
Çizelge 3.4 Çoklu ortamlar için sunulan sayısal damgalama yöntemleri ve özellikleri.....	21
Çizelge 3.5 Uzamsal boyutta sunulan damgalama yöntemleri ve özellikleri.....	25
Çizelge 3.6 AFD tabanlı sayısal damgalama yöntemleri	27
Çizelge 3.7 AKD tabanlı sayısal damgalama yöntemleri.....	31
Çizelge 3.8 ADD tabanlı sayısal damgalama yöntemleri.....	35
Çizelge 3.9 ADD’ye kaskad frekans dönüşümü tabanlı sayısal damgalama yöntemleri	36
Çizelge 5.1 Farklı seviyelerde damgalanmış Lenna için ÖOKH ve ÖTİGO değerleri.....	63
Çizelge 5.2 Farklı seviyelerde damgalanmış Baboon için ÖOKH ve ÖTİGO değerleri	64
Çizelge 5.3 Farklı seviyelerde damgalanmış Boat için ÖOKH ve ÖTİGO değerleri	65
Çizelge 5.4 Farklı seviyelerde damgalanmış Peppers için ÖOKH ve ÖTİGO değerleri	66
Çizelge 5.5 Farklı seviyelerde algılanmış Lenna için başarımlı ölçütleri.....	67
Çizelge 5.6 Farklı seviyelerde algılanmış Baboon için başarımlı ölçütleri	68
Çizelge 5.7 Farklı seviyelerde algılanmış Boat için başarımlı ölçütleri.....	68
Çizelge 5.8 Farklı seviyelerde algılanmış Peppers için başarımlı ölçütleri.....	69
Çizelge 5.9 Saldırıya uğramış görüntülerden damganın algılanması	70

ÖNSÖZ

Teknolojideki gelişmelerin sonucunda çeşitli formatlardaki içeriğin izinsiz paylaşımı ve kullanımı giderek artmaktadır. Buna bağlı olarak da içerik koruma teknolojileri artarak önem kazanmaktadır. Damgalama teknolojileri de içerik koruma teknolojilerinin alt grubunda yer almaktadır. Bu çalışmada çeşitli ortamlarda saklanan içeriği korumak amacıyla görüntü ve video işaretleri için bir sayısal damgalama yöntemi önerilmiştir.

Öncelikle, çalışmanın gerçekleştirilmesinde değerli bilgi ve düşünceleriyle katkıda bulunan tez danışman hocam Sayın Prof. Metin Yücel'e, araştırmanın geliştirilmesinde ve tezin yönlendirilmesinde büyük emek harcayan hocam Sayın Prof. Dr. Melih Pazarcı'ya, ayrıca çalışmanın detaylandırılmasına görüşleriyle yön veren hocam Sayın Prof. Dr. Fikret Gürgen'e içten saygılarımı sunarım.

Tüm çalışmam boyunca düşüncelerini benden esirgemeyen, gerek yazılım ve gerek donanım yönünden desteğini aldığım değerli iş arkadaşım Erdem Başegemez'e, çalışmaya olan maddi ve manevi katkılarından dolayı Digital Platform İletişim Hiz. A.Ş. adına Sayın Taylan Özsipahi'ye teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Her konuda olduğu gibi tez çalışmam sırasında da sabrını ve desteğini hiç bir zaman benden esirgemeyen sevgili eşim Sayın Deniz Emek'e şükranlarımı sunarım.

Bununla birlikte, çalışmalarım boyunca kitaplarından ve makalelerinden yararlandığım tüm meslektaşlarıma ve değerli bilim adamlarına bilim adına teşekkür ederim.

ÖZET

Son yirmi otuz yıldır sayısal teknolojiadaki hızlı gelişmenin ardından çoklu ortam ağlarında sayısal verilerin iletimi oldukça hızlanmış ve kolaylaşmıştır. Kablolı ve kablosuz ağlar için yüksek hızlı internetin yaygınlaşması ve oldukça uygun fiyatlı ve yaygın sayısal kayıt ve saklama cihazlarının ortaya çıkması, sayısal verilerin kopyalanmasını, iletimini ve dağıtımını zahmetsiz bir hale getirmiştir. Bunun sonucu olarak, çoklu ortam verileri için güvenilir ve sağlam bir kopyalama koruma yöntemi ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Sayısal damgalama yöntemlerinde, görülmeyen ve duyulmayan bir miktar veri sayısal çoklu ortam verilerinin içerisine gömülür. Bu amaçla yerleştirilen veri damga olarak adlandırılır ve telif hakları bilgisini taşır. Sayısal damgalama yöntemleri, telif haklarının korunması, parmak izi takibi, kopyalama koruması, yayın izleme, veri doğrulama, veri gizleme amaçlarla kullanılabilir. Damgalama algoritmalarının bir çok farklı karakteristiği olmasına karşın etkili bir damgalama için görünmezlik – duyulmazlık, dayanıklılık, güvenlik ve damga yükü en önemli temel karakteristiklerdir.

Bu çalışmada, ADD'den sonra AKD uygulayarak, insan görüş sistemiyle uyumlu bir şekilde daha iyi fark edilmezlik ve işaret işleme saldırıları karşısında daha iyi dayanıklılık sağlayan yeni bir sayısal damgalama yöntemi sunulmaktadır. Damgalama yönteminin dayanıklılığı damga enerjisinin artırılması ile geliştirilir. İnsan gözü tarafından fark edilmeden damga enerjisinin bölgesel olarak artırılması insan görüş sisteminin özelliklerinin kullanılması ile mümkündür. İnsan görüş sisteminin işlemsel olarak etkili bir frekans modeli ADD kullanılarak elde edilir. Bu yolla ADD kullanılarak fark edilmezlik geliştirilmektedir. AKD ise yöntemin sinyal işleme saldırıları karşısında dayanıklılığını artırmaktadır.

Damgalama işlemine asıl görüntüye ADD uygulayarak başlanmış arkasından ADD alt bantlarına AKD uygulanmıştır. Yöntem ilk önce literatürde sık kullanılan sabit görüntülere uygulanmış, sonra MPEG-2 ve MPEG-4 video dizileri için genelleştirilmiştir. Fakat yöntem ADD kullanımından dolayı ADD tabanlı JPEG2000 gibi sabit görüntü sıkıştırma standardı ve MPEG-4, Dirac gibi video sıkıştırma standartları için daha uygundur. Deneysel incelemeler, yöntemin fark edilmezlik ve dayanıklılık performansının iyi olduğunu göstermiştir. Bu amaçla Stirnack 3.1 karşılaştırmalı sınaması sistemi kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kopyalama koruma, ADD, AKD, sayısal damgalama, sabit görüntü damgalama, video damgalama

ABSTRACT

There has been an explosion in the use and distribution of multimedia content because of the rapid development of information technologies for multimedia services. The success of the Internet, cost-effective and popular digital recording and storage devices, and the promise of higher bandwidth and quality of services for both wired and wireless networks have made it possible to easily create, replicate, transmit, and distribute digital content. Consequently, this has led to a strong demand for reliable and secure copyright protection techniques for multimedia data. In digital watermarking methods, invisible or inaudible data is embedded to multimedia content. The hidden data for such purposes is called a watermark and it contains copyright information. Digital watermarking methods can be used for copyright protection, fingerprint trace, copy protection, broadcast monitoring, data authentication and data hiding purposes. Although watermarking algorithms have different characteristic feature, imperceptibility, robustness, security, and payload are most important features for effective watermarking.

In this work, we propose a new digital watermark method using the DWT prior to the DCT to provide better imperceptibility in harmony with the human visual system, and higher robustness against signal processing attacks. The robustness is improved by the achieved ability to increase the energy of the watermark. The energy is increased locally by exploiting the properties of the HVS such that the human eye will not notice it. DWT is used as a computationally efficient version of the frequency models for HVS. In this way, imperceptibility is also improved due to the DWT. DCT is also improved robustness against to signal processing attacks.

We start the watermarking process by applying the DWT to the original image, and subsequently applying the DCT to the DWT sub-bands. Firstly, we apply the method to still images that are most used in the literature, then generalize for MPEG-2 and MPEG-4 video streams. But the method is most suitable for DWT based system such as JPEG2000 still image compression standard and MPEG-4, Dirac video compression standards due to usage of DWT. Experimental evaluations show that imperceptibility and robustness performance of method is good. For this purpose, we use Stirmark 3.1 benchmark tools.

Keywords: Copy protection, DWT, DCT, digital watermarking, still image watermarking, video watermarking,

1. GİRİŞ

Bu bölümde içerik koruma ihtiyacının nedenleri, dünyada ve Türkiye’de içerik korumanın hukuksal alt yapısı açıklandıktan sonra şifreleme ve damgalama içerik koruma teknolojileri tanıtılacaktır. Sayısal damgalama yöntemleri ve kullanım alanları açıklanarak, sayısal damgalama yöntemlerine başlangıç yapılacaktır.

1.1 İçerik Koruma İhtiyacı

Fikri mülkiyet hakları kavramı; endüstri, bilim, edebiyat ve sanatsal alanlarda yapılan fikri çalışmalar sonunda yaratılan eserler üzerinde sahibinin haklarını tanımlamak için kullanılır. Fikri mülkiyet, endüstriyel haklar ve telif hakları olmak üzere iki gruba ayrılır. Endüstriyel haklar; patentler, ticari markalar, endüstriyel tasarımlar ve bölgesel göstergeleri kullanarak ortaya çıkan ticari meta üzerinde sahibinin haklarını tanımlamaktadır. Örneğin yeni icat edilen suyla çalışan motor için alınan patent, Sony markasının ticari hakları, içecek kutuları için kolay açma kapağını tasarımının hakları, Gaziantep baklavasının o il dışında başka yerde üretilmemesi hakları endüstriyel haklar kapsamında değerlendirilir. Telif hakları ise; edebiyat ve sanat alanında verilen eserler üzerinde sahibinin haklarını tanımlamaktadır. Örneğin roman, şiir, resim, oyun, film, fotoğraf, heykel, mimari tasarım gibi sanatsal ve kültürel çalışmaların hakları telif hakları kapsamında değerlendirilir.

Telif haklarının hangi alanlarda ve nasıl uygulanacağı her ülkenin kendi yasaları ile belirlenmiştir. Dünyada genel olarak; müzik, drama, koreografi, resim ve heykel alanlarında verilen eserler, hareketli resimler, görsel-işitsel çalışmalar, ses ve müzik kayıtları, mimari tasarım çalışmaları telif hakları kapsamında değerlendirilir. Bu çalışmalardan hareketli resimler, görsel-işitsel çalışmalar, ses ve müzik kayıtları içerik olarak tanımlanır.

Son yirmi otuz yıldır teknolojiye paralel olarak; internetin giderek yaygınlaşması, uygun fiyatlı sayısal veri saklama ve kaydetme cihazlarının ortaya çıkması, yüksek band genişliği ve kalitesi gibi yaşanan teknolojik gelişmeler sayısal içeriğin oluşturulmasını, kopyalanmasını ve iletimini kablolu ve kablosuz çoklu ortam ağları için oldukça kolay hale getirmiştir. Teknolojiye gelişmenin yaşantımıza getirdiği bir çok kolaylığın yanında çeşitli formatlardaki sayısal içeriğin çoklu ortamlar yardımıyla yasal olmayan paylaşımı gittikçe artmaktadır. Bu durum telif haklarının korunması açısından yasal ve teknolojik önlemler alınması ihtiyacını doğurmuştur. Hem hukuksal hem de teknolojik alanda çalışmalar büyük bir hızla devam etmektedir.

Uluslararası Fikri Hakları Birliği (International Intellectual Property Alliance, IIPA) tarafından yapılan araştırma sonuçlarına göre; sayısal içeriğin yasal olmayan kullanımından dolayı 2004 yılında Amerika’da oluşan ticari zarar 13.358 milyar Amerikan dolarıdır (www.iipa.com). Çizelge 1.1’de bu araştırma ile ilgili detaylı sonuçlar verilmiştir. Bu duruma en güzel örnek MP3 formatındaki müzik parçalarının Napster adlı site vasıtasıyla bütün dünyada yasal olmayan paylaşımı gösterilebilir. Bir çok içerik firması; güvenliğin yeterince sağlanamamasından dolayı sayısal ortamda – CD, DVD – içeriklerini pazara sürmekte isteksiz davranmakta, geç sürmekte ya da hiç sürmemektedir.

Büyük maddi ve manevi uğraş sonunda oluşturulan sayısal içeriklerin yasal olmayan yollarla kullanımı her anlamda büyük kayıplara yol açtığından sayısal içerik için telif haklarının korunması giderek önem kazanmaktadır. Telif haklarının korunması amacıyla hukuksal ve teknik çalışmalar büyük bir hızla devam etmektedir. Sayısal ortamda, içerik sahibinin telif haklarının korunmasını sağlamak için 1998 yılında Amerikan Kongresi’nde Sayısal Binyıl Telif Hakları Sözleşmesi (Digital Millenium Copyrigt Act, DMCA) kabul edilmiştir. Benzer bir çalışma da Avrupa Birliği tarafından yürütülmektedir. Türkiye’de telif hakları 5846 sayılı “Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu” kapsamında Kültür ve Turizm Bakanlığına bağlı Telif Hakları ve Sinema Genel Müdürlüğü tarafından korunmaktadır. 13/04/2004 tarihinde yapılan son değişikliklerle telif haklarının korunması konusunda güncelleme sağlanmıştır. Hukuksal alandaki önlemlerin yanında içerik koruma teknolojileri kullanılarak teknik alanda da önlemler geliştirilmektedir.

Çizelge 1.1 2004 yılında ABD’de yasal olmayan kullanımdan kay. tahmini ticari kayıp

FALİYET ALANI	TAHMINİ KAYIP (MİLYON \$)
hareketli resimler (video, klip, reklam)	1.800
müzik (şarkı)	2.657
iş yazımları (bilgisayar programları)	6.448
eğlence yazılımları (oyunlar)	1.850
kitaplar	603
TOPLAM	13.358

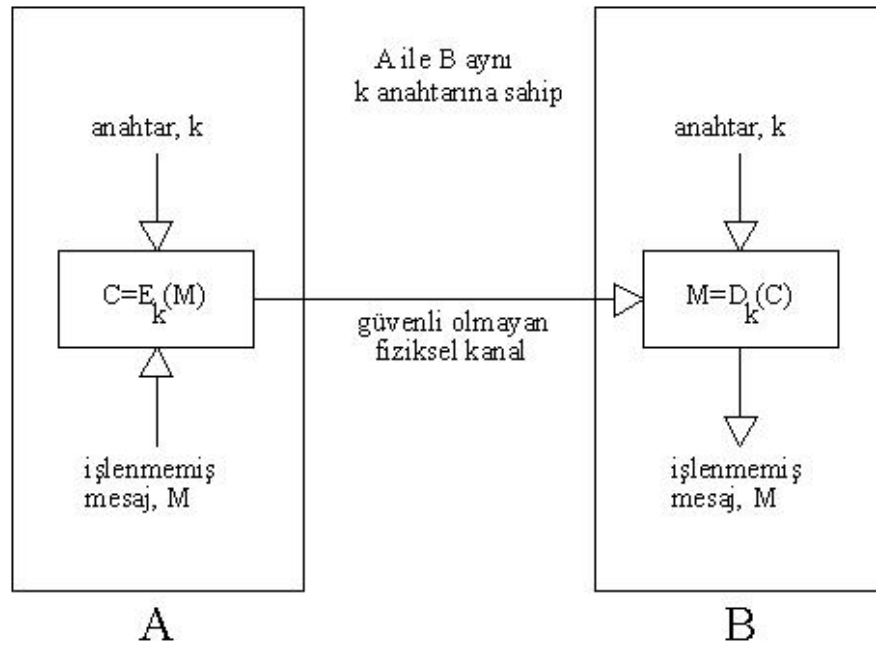
1.2 İçerik Koruma Teknolojileri

İçerik koruma teknolojileri; telif haklarına sahip sayısal içeriğe yetkisiz erişim durumunda; içeriğin oynatmama, kaydetmeyi engelleme gibi çeşitli metotlar ve araçlar sunmaktadır. Bilgi

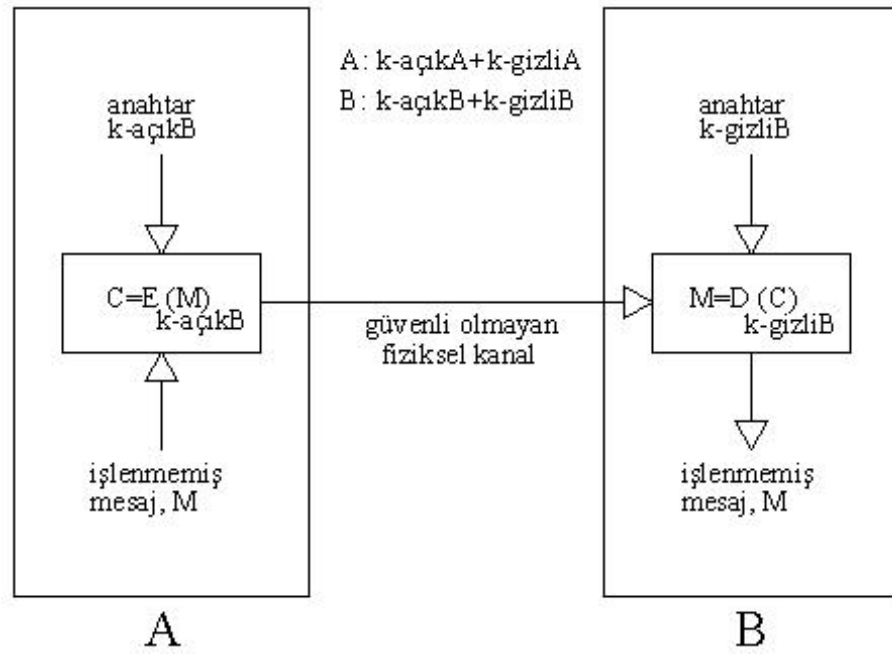
güvenliğini sağlamak için kullanılan şifreleme, rastlantısal hale getirme (hashing), sayısal imza ve damgalama teknolojileri aynı zamanda içerik koruma amacıyla da kullanılırlar. Özellikle bir birini tamamlayan şifreleme ve damgalama teknolojileri sayısal içerik koruma sistemlerinin tasarımında temel oluşturmaktadır.

Şifreleme teknolojileri, telif haklarına sahip içeriği şifresi çözülmeden anlaşılmayan bir formata dönüştürerek göndericiden alıcıya olan iletim boyunca korumayı sağlarlar. İçerik, alıcı tarafından alınıp çözüldükten sonra herhangi bir koruma söz konusu değildir. Bu noktadan sonra damgalama teknolojileri devreye girer.

Senkron ve senkron olmayan olmak üzere iki tür şifreleme vardır. Senkron şifreleme sistemlerinde; anahtarlar alıcı ve verici tarafta aynıdır ve istendiğinde kolaylıkla değiştirilir. Şekil 1.1’de simetrik şifreleme sistemi gösterilmiştir. Senkron şifreleme algoritmaları dizi ve blok şifreleme algoritmaları olarak iki gruba ayrılır. Dizi şifreleme algoritmalarında; şifrelenecek mesaja (M) ait her bir bit ($m_1, m_2, \dots$) şifreleme anahtarının bir bitiyle ($K=k_1k_2\dots$) şifrelenir. Örnek olarak RC4, SEAL algoritmaları verilebilir. Blok şifreleme algoritmalarında şifrelenecek mesaj (M) çeşitli bloklara ($M_1, M_2, \dots$) bölünerek her blok aynı anahtar (K) ile şifrelenir. Örnek olarak DES, FEAL, IDEA, RC5 algoritmaları verilebilir. Senkron olmayan şifreleme sistemlerinde; şifreleme ve şifre çözme anahtarları farklıdır, bilinen anahtar kullanılarak bilinmeyen anahtarı hesaplamak mümkün değildir. Örnek olarak RSA, ElGamal, Merkle-Hellman verilebilir. Şekil 1.2 simetrik olmayan şifreleme sistemi gösterilmiştir.

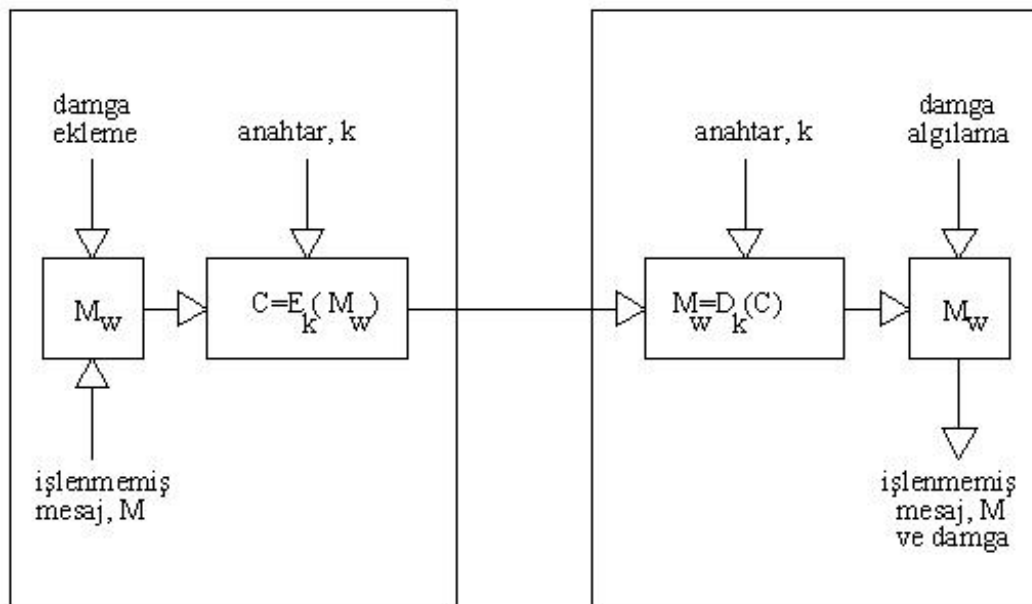


Şekil 1.1 Simetrik şifreleme sistemi blok yapısı



Şekil 1.2 Simetrik olmayan şifreleme sistemi blok yapısı

Damgalama teknolojileri; telif hakları bilgisini sayısal içeriğe gizli ve insan duyuları tarafından hissedilmeyecek biçimde gömerek yerleştirir. Sayısal damgalanmış içerikte; içeriğin tüm ömrü boyunca var olan damga olarak adlandırılan bu bilgi ses, görüntü veya herhangi bir formatta olabilir. Damga, içeriğin kullanım haklarını belirleyerek kullanıcıya bildirimde bulunur. Farklı uygulamalarda; içeriğin sahibini belirleme, izinsiz kopyalamanın kaynağını belirleme, kopyalama cihazını engelleme gibi farklı amaçlarla kullanılır.

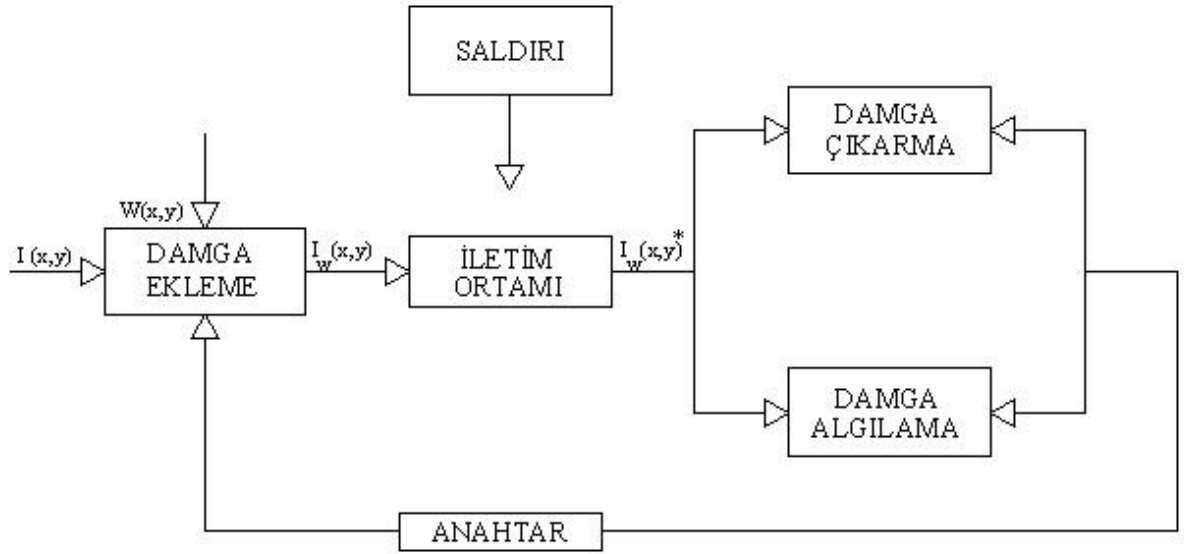


Şekil 1.3 Damgalama ve şifreleme teknolojilerinin tümleşik kullanımı

Birbirini tamamlayan iki teknolojinin birlikte kullanılmasıyla daha sağlam hibrid içerik koruma sistemi oluşturulabilir. Şekil 1.3’de iki teknolojinin birlikte kullanımının blok gösterilimi yer almaktadır.

1.3 Sayısal Damgalama Yöntemleri

Asıl içeriğe damga bilgisini yerleştirmek için; asıl içerik üzerinde, hissedilmeyecek fakat daha sonra algılanabilecek şekilde küçük değişiklikler yapılır. İçerik üzerinde yapılan bu değişiklikler damga bilgisini oluşturur. Damgalama için çok geniş bir yelpazede yer alan farklı boyutlarda farklı yöntemler kullanılabilir. Uzamsal boyutta damga işareti; görüntü işaretlerinde piksellerin parlaklık değerine, ses işaretlerinde işaretin genlik seviyesine, frekans boyutunda dönüşüm katsayılarına doğrudan toplamsal olarak eklenir. Hissedilebilirliği azaltmak için de insan görüş ve duyuş sistemine dayalı çeşitli ön işlemler damgalama öncesinde ve sırasında kullanılır. Algılama aşamasında; damgalanmış görüntü, asıl görüntü ve damga işaretlerinden ikisi veya üçü kullanılarak, benzerlik ölçümü yöntemleriyle algılama gerçekleştirilir. Şekil 1.4’de sayısal damgalama sisteminin blok yapısı görülmektedir.



Şekil 1.4 Sayısal damgalama sisteminin blok yapısı

Damgalama sisteminin tasarım amacına göre sayısal damgalama teknolojileri aşağıdaki gibi farklı amaçlarla kullanılır.

- İçeriğin yasal sahibini belirleme: İçerik sahibi kendi ürününe, o ürünün kendisine ait olduğunu gösteren damgayı yerleştirir. Bu damga hukuki bir anlaşmazlık durumunda mahkemede o ürünün yasal sahipliğini ispat etmede kullanılır.

- Yasal olmayan kopyalamanın kaynağını belirleme: Bu durumda içerik sahibi her ürününe farklı damga yerleştirerek müşterilerine gönderir. Müşterilerden biri kendi ürününü izinsiz kopyalarsa, o izinsiz kopyada bulunan damga yardımıyla hangi müşterinin bu işi yaptığı belirlenir.
- Kayıt cihazını engelleme: İçeriğin içine yerleştiren kopyalamaya izin vermeyen damga bilgileriyle kayıt cihazı tetiklenerek kopyalama işlemine izin verilmez.
- Yayın izleme: Reklam ve haber içeriklerine yerleştirilen damga ile reklamın yayın süresini ve adetini belirleme, haberin çalıntı olup olmadığının belirlenmesi amacıyla kullanılır.
- Veri doğrulama: İki kullanıcı arasındaki haberleşmede, bir kullanıcıya diğer kullanıcının doğruluğunu sağlama amacıyla kullanılır.
- Tıbbi bilgileri gizleme: Bir hastaya ait tıbbi bilgilerin kendisinde bulunan bir anahtar yardımıyla gizlenmesi amacıyla kullanılır.
- Veri gizleme; İki kullanıcı arasındaki haberleşmede kişiye özel mesajları saklama amacıyla kullanılır.

İlk yapılan çalışmalarda sayısal damga bilgileri içeriğe uzamsal boyutta yerleştirilmiştir. Görüntü ve video işaretlerinde piksel değerleri, ses işaretlerinde genlik değerleri üzerinde küçük değişiklikler yapılarak damgalama gerçekleştirilmiştir. Bu tür yöntemlerin gürültü ve sıkıştırma altında etkisinin azalması nedeniyle frekans boyutundaki teknikler incelenmeye başlanmıştır. Frekans boyutunda damgalama, dönüşüm katsayıları üzerinde küçük değişiklikler yapılarak gerçekleştirilir. Görüntü ve video sıkıştırma formatları olan JPEG ve MPEG2’de yaygın kullanımından dolayı Ayrık Kosinüs Dönüşümü (Discrete Cossine Transform, DCT) tabanlı yöntemler üzerinde çok detaylı araştırmalar yapılmıştır. İnsan görüş sistemine uygun yapısı, JPEG2000 ve MPEG4 gibi görüntü ve video sıkıştırma formatlarında kullanımından dolayı Ayrık Dalgacık Dönüşümü (Discrete Wavelet Transform, DWT) tabanlı yöntemlerde büyük gelişme göstermiştir ve göstermeye devam etmektedir.

Bu tez çalışmasında her iki dönüşüm boyutunda yapılan çalışmaların sonuçlarından yararlanılarak hem AKD hem de ADD dönüşümlerinin pozitif yönlerini artırarak ortaya çıkaran ADD-AKD tabanlı sayısal damgalama yöntemi ortaya konacaktır. ADD-AKD tabanlı sayısal damgalama yöntemi, ADD kullanılmasından dolayı JPEG2000 yada MPEG4 formatındaki görüntü ve video işaretleri için uygundur.

1.4 Tez Düzeni

İlk bölümde sayısal damgalama ihtiyacı, içerik koruma teknolojileri ve sayısal damgalama yöntemlerine genel bir bakış gerçekleştirilmiştir. İkinci bölümde sayısal damgalama sistemlerinin matematiksel modeli ve karakteristik özellikleri ortaya konacaktır. Üçüncü bölümde sayısal damgalama yöntemleri sınıflandırılarak daha önce yapılan çalışmalar ve sonuçları sıralanacaktır. Dördüncü bölümde tez çalışmasında kullanılan ADD-AKD tabanlı sayısal damgalama yönteminin gelişim süreci açıklanacaktır. Bu bölümde ayrıca ADD-AKD dönüşüm katsayılarının ve damga algılama işaretinin yoğunluk fonksiyonları ile modellenmesi incelenecektir. Yine bu bölümde video işaretlerinin damgalanması da ele alınacaktır. Son bölümde, en iyi başarımın getirileri ve sonuçları; başarım kriterlerine ve karşılaştırmalı sinama test sistemine dayalı olarak ortaya konacaktır.

1.5 Sonuç

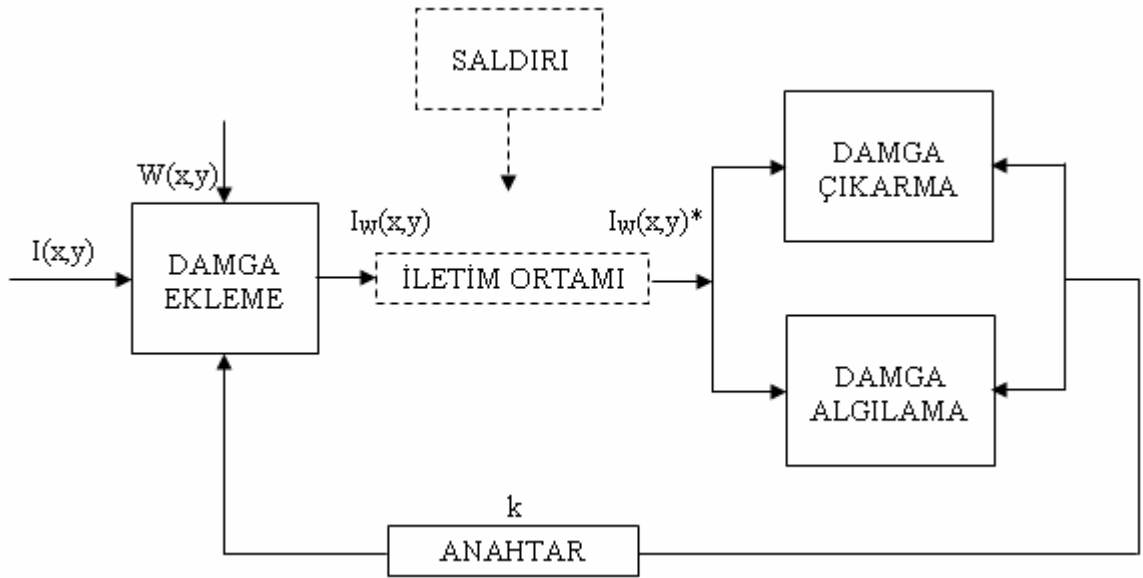
Uygulamalarda özellikle video işaretlerinin damgalanmasında herhangi bir algoritma standart olarak belirlenmediğinden bu alanda çalışmalar yoğun olarak devam etmektedir. Tez çalışmasında, yasal olmayan kopyanın kaynağını belirlemek amacıyla ADD-AKD tabanlı sayısal damgalama yöntemi ortaya konacaktır.

2. SAYISAL DAMGALAMA SİSTEMLERİ

Bu bölümde sayısal damgalama ve damga algılama sisteminin temel bileşenleri matematiksel modeli ortaya konduktan sonra sayısal damgalama sistemlerinin temel karakteristik özellikleri açıklanacaktır. Bunun yanında sayısal damgalama sisteminin performansını belirleyen pozitif algılama ve negatif algılama hataları da bu bölümde tanımlanacaktır. Tez çalışmasında içerik olarak görüntü kullanıldığından bundan sonraki tanımlamalarda içerik yerine görüntü kullanılacaktır. Yapılan tanımlamalar uzamsal boyutta görüntü işaretleri için yapılacaktır. Bu tanımlar daha sonra farklı boyutlar için genelleştirilecektir.

2.1 Sayısal Damgalama Sistemi Modeli

Bir sayısal damgalama sistemi; damga ekleme, anahtar ve damga algılama/çıkarma olarak adlandırdığımız üç temel bileşen yardımıyla modellenir. Şekil 2.1’de bir sayısal damgalama sisteminin blok yapısı ve söz konusu bileşenler yer almaktadır. Basitliğin sağlanması açısından ilk aşamada iletim ortamının kayıpsız ve gürültüsüz olduğu, ayrıca iletim aşamasında saldırı olmadığı varsayılacaktır. Bu kabuller altında sayısal damgalama sisteminin modeli, uzamsal boyutta incelenecektir.

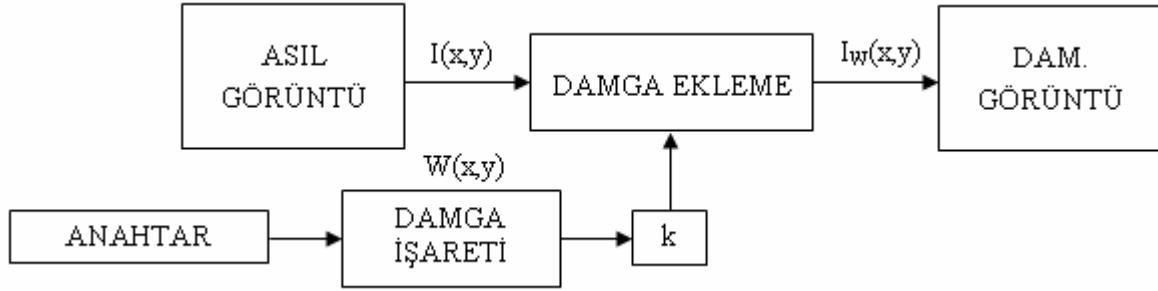


Şekil 2.1 Sayısal damgalama sisteminin temel bileşenleri

2.1.1 Damga Ekleme

Uzamsal boyutta damga eklemenin en kısa yolu; sözde rastlantısal gürültü deseninden oluşan damga işaretini, asıl görüntü piksellerinin parlaklık değerine eklemektir. Genellikle, sözde

rastlantısal gürültü deseninden oluşan gürültü işareti $\{-1, 0, 1\}$ değerlerinden bazen de ondalık sayılardan oluşur. Sözde rastlantısal gürültü deseninden oluşan gürültü işareti; bir çekirdekten, lineer ötelemeli kaydediciden yada rasgele karıştırılmış bir görüntüden anahtar yardımıyla elde edilir. Bu işaretin enerjisi az çok düzgün dağıtılmıştır ve asıl görüntü ile ilişkisizdir. Şekil 2.2’de uzamsal boyutta damgalama sisteminin blok yapısı görülmektedir.



Şekil 2.2 Sayısal damgalama sisteminin blok yapısı

En basit olarak damgalanmış görüntü $I_w(x,y)$ elde etmek için, sözde rastlantısal gürültü deseninden oluşan gürültü işareti $W(x,y)$ bir k kazanç faktörü ile çarpılarak asıl görüntüye $I(x,y)$ eklenir. Bu ifadenin matematiksel gösterilimi 2.1’de görülmektedir.

$$I_w(x, y) = I(x, y) + kW(x, y) \quad (2.1)$$

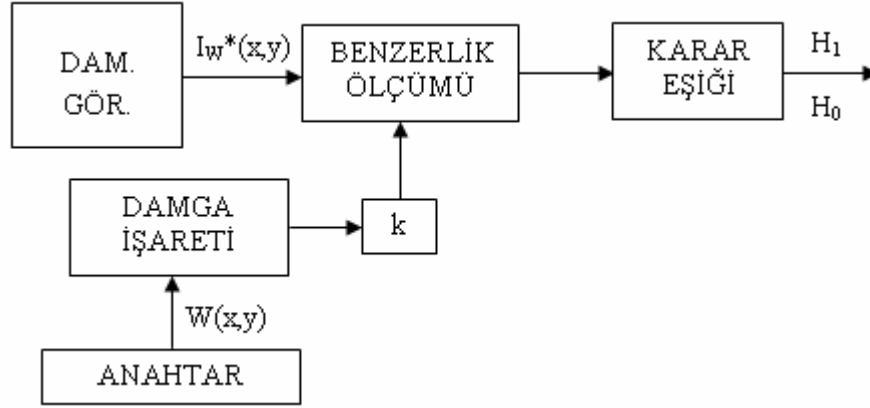
2.1.2 Damga Algılama/Çıkarma

Görüntü işaretlerine gömülen damga çeşitli yollarla bu işaretlerden algılanabilir. Bu yöntemlerden biri; damgalanması muhtemel görüntü $I_w^*(x,y)$ ile sözde rastlantısal gürültü deseni $W(x,y)$ arasındaki ilişkinin hesaplanmasıdır. 2.2’de oldukça yaygın kullanılan ilişki hesaplama ifadesi yer almaktadır.

$$R_{I_w(x,y)W(x,y)} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N I_{w,i}^*(x, y) W_i(x, y) \quad (2.2)$$

Algılama işleminde th eşik değeri, damganın algılanmasında en önemli değişkendir. Eğer hesaplanan ilişki değeri eşikten büyükse $I_w^*(x,y)$ damgalanmıştır, değilse $I_w^*(x,y)$ damgalanmamıştır. Bu ifadenin matematiksel gösterilimi uzamsal boyut için 2.3’dedir. Şekil 2.3’de damgalanmış görüntü ve damga işareti kullanılarak damga algılama işleminin blok yapısı görülmektedir.

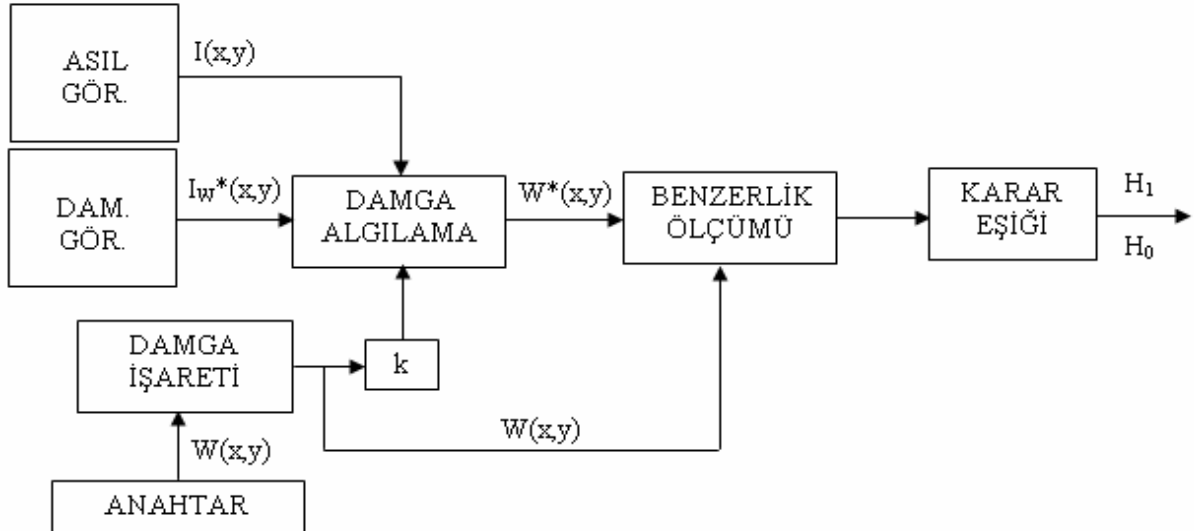
$$\begin{aligned}
 R_{I_w(x,y)W(x,y)} > th &\rightarrow \text{damga mevcuttur,} \\
 R_{I_w(x,y)W(x,y)} < th &\rightarrow \text{damga yoktur.}
 \end{aligned}
 \tag{2.3}$$



Şekil 2.3 Damgalanmış görüntü ve damga işareti kullanılarak damga algılama blok yapısı

Damgayı algılayabilmek için ikinci bir yöntemde; asıl damga $W(x,y)$ ile çıkarılmış damga $W^*(x,y)$ arasındaki benzerlik ilişkisinin hesaplanmasıdır. 2.4'de söz konusu benzerlik ilişkisinin hesaplanma ifadesi yer almaktadır. $w(z)$, $W(x,y)$ 'nin; $w^*(z)$, $W^*(x,y)$ 'nin satırlara yada sütünlara göre sıralanmasıyla elde edilir.

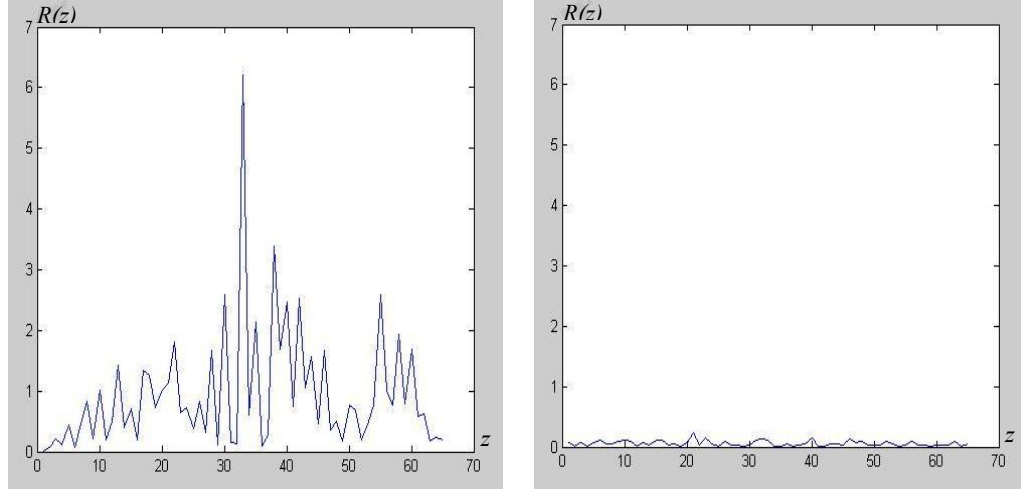
$$\text{sim}(w(z), w^*(z)) = \frac{w^*(z)w(z)}{\sqrt{w^*(z)w^*(z)}} \geq th, \quad w(z) = \text{srt}(W(x,y))
 \tag{2.4}$$



Şekil 2.4 Asıl ve damgalanmış görüntü ve damga işareti kul. damga algılama blok yapısı

Bu ifadeye göre hesaplanan ilişki değeri th algılama eşikinden büyükse çıkarılmış damga W^* gerçektir, eşik değerinden küçükse çıkarılmış damga gerçek değildir. Asıl görüntü,

damgalanmış görüntü ve damga işareti kullanılarak damga algılama işleminin blok yapısı şekil 2.4’de yer almaktadır. Bazı uygulamalarda damga algılandıktan sonra asıl görüntüden çıkarılarak damgalama kaldırılır. Bunun için önce algılama işlemi, daha sonra çıkarma işlemi uygulanır. Şekil 2.5’de damga içeren ve içermeyen görüntü işaretlerinin damga ile karşılaştırma grafiği görülmektedir.



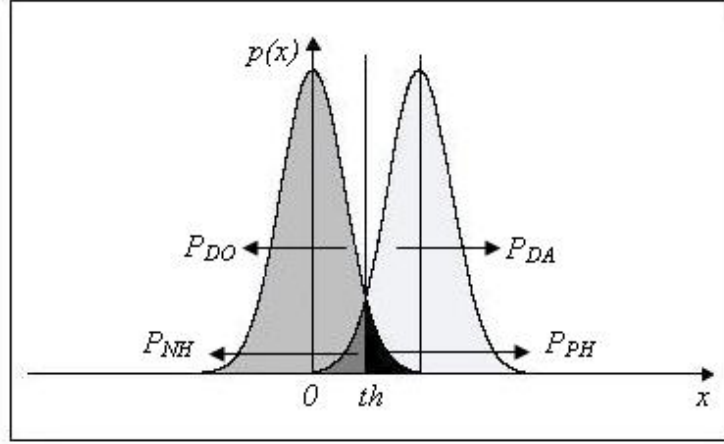
Şekil 2.5 Damga içeren ve içermeyen işaretlerin ilişki tabanlı benzerlik grafiği

2.1.3 Algılama Olasılıkları

Algılama işleminde damganın algılanması ile ilgili iki farklı olasılık ve bunlara bağlı iki tür hata olasılığı vardır. Damga olmadığı durumda, söz konusu olasılık *Damga Olmadığının Algılanma Olasılığı* olarak adlandırılır ve P_{DO} olarak gösterilir. Buna bağlı hata olasılığı; damganın olmadığı durumda, damga olduğunun algılanması olasılığıdır. Bu durum *Pozitif Hata* olarak adlandırılır ve P_{PH} ile gösterilir. Damganın olduğu durumda, söz konusu olasılık *Damganın Algılama Olasılığı* olarak adlandırılır ve P_{DA} ile gösterilir. Buna bağlı hata olasılığı; damga olmasına rağmen damganın algılanmama olasılığıdır. Bu durum da *Negatif Hata* olarak adlandırılır ve P_{NH} ile gösterilir. Asıl ve damgalanmış görüntü dağılımlarının eş şekilli ve damganın ikili olması halinde, damganın olduğu ve olmadığı durumu gösteren yoğunluk fonksiyonunun kesişim noktası eşik değerini belirler. Algılama olasılıkları ve algılama hata olasılıkları arasındaki ilişki 2.5’de gösterilmiştir.

$$P_{DO} + P_{PH} = 1, \quad P_{DA} + P_{NH} = 1 \quad (2.5)$$

Asıl ve damgalanmış görüntünün Gauss dağılımlı, damganın ikili olması halinde, algılama işleminin kullanılan doğru algılama ve hata olasılıkları şekil 2.6’da gösterilmiştir.



Şekil 2.6 Olasılık yoğunluk fonksiyonları yardımıyla algılama olasılıkları ve algılama hata olasılıklarının gösterilmesi

Kalker vd. (1998) tarafından birinci dereceden öz yinelemeli görüntü modeli kullanılarak bu iki tür hatanın olasılığı 2.6'da olduğu gibi elde edilmiştir. Bu çalışmada asıl görüntü ve damgalanmış görüntünün Gauss dağılımlı olduğu varsayılmış, damga olarak ikili rastlantısal gürültü deseni kullanılmıştır.

$$P_{PH} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{th\sqrt{N}}{\sigma_w \sigma_I \sqrt{2}} \right) \quad (2.6)$$

$$P_{NH} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{(\sigma_w^2 - th)\sqrt{N}}{\sigma_w \sigma_I \sqrt{2}} \right)$$

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-t^2/2} dt, \quad \operatorname{erfc}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^\infty e^{-t^2} dt, \quad Q(x) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{x}{\sqrt{2}} \right) \quad (2.7)$$

2.6'da σ_w^2 damganın değişinti değerini, σ_I^2 asıl görüntünün değişinti değerini, th algılama eşik değerini, N 'de damgalanan asıl görüntü elemanının toplam değerini göstermektedir. Ayrıca hata fonksiyonu 2.7'de gösterildiği gibidir.

Hernández, Amado, ve Pérez-Gonzalez (2000) tarafından algılama hatası ve yanlış algılama hatası tanımları yapılmıştır. Asıl görüntü katsayıları ve damgalanmış görüntünün katsayıları genelleştirilmiş Gauss dağılımlı olasılık yoğunluk fonksiyonları ile ifade edildiğinde, toplamsal damgalama yaklaşımı altında H_0 damgalamanın olmadığı durumu ve H_1 damgalamanın gerçekleştiği durumu gösterir. Bu işlemin matematiksel gösterilimi 2.8'de görülmektedir.

$$\begin{aligned} H_1 : I_w(k, l) &= I(k, l)[1 + K.f(k, l)W(k, l)] \\ H_0 : I_w(k, l) &= I(k, l) \end{aligned} \quad (2.8)$$

Bu yaklaşımlar altında damganın varlığına 2.9'da tanımlı En Büyük Benzerlik (EBB) (Maximum Likelihood, ML) kuralı 2.10'daki gibi ifade edilerek karar verilir.

$$\begin{aligned} H_1 : \Lambda(I_w) &> th \\ H_0 : \Lambda(I_w) &< th \end{aligned} \quad (2.9)$$

Burada $\Lambda(I_w)$ EBB fonksiyonunu, th karar eşiğini göstermektedir.

$$\Lambda(I_w) = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J \frac{p(I_{w(j)} | H_1, W)}{p(I_{w(j)} | H_0)} \quad (2.10)$$

Burada J damgalanan görüntü katsayılarının sayısını göstermektedir.

Bu durumda damga algılama olasılığı ve negatif hata olasılığı 2.11'deki gibi ifade edilir.

$$P_{DA} = Q\left(\frac{th - m_1}{\sigma_1}\right), \quad P_{NH} = Q\left(\frac{th + m_1}{\sigma_1}\right) \quad (2.11)$$

Burada th algılama eşik değerini, m_1 : H_1 durumunda ortalama değeri, σ_1 : H_1 durumunda standart sapma değerini göstermektedir. İşaret gürültü oranı 2.12'de olduğu gibi kabul edilerek P_{DA} algılama hata olasılığı 2.13'de verilmiştir.

$$SNR = \frac{m_1^2}{\sigma_1^2} \quad (2.12)$$

$$P_{DA} = Q(Q^{-1}(P_{NH}) - 2\sqrt{SNR}) \quad (2.13)$$

Nikoliadis ve Pitas (2002) tarafından AKD ve ADD boyutlarındaki damgalama yöntemlerinde damga algılama için önerilen en uygun algılayıcı içinde pozitif ve negatif hata tanımları yapılmıştır. Bu durumda damga algılama olasılığı ve negatif hata olasılığı 2.14'deki gibi ifade edilir.

$$P_{NH} = 2Q(\sqrt{th}), \quad P_{PH} = 1 - Q(\sqrt{th} - \sqrt{\lambda}) - Q(\sqrt{th} + \sqrt{\lambda}) \quad (2.14)$$

Burada th algılama eşik değerini λ merkezden açılma parametresinin değerini göstermektedir.

2.2 Sayısal Damgalama Sistemlerinin Karakteristik Özellikleri

Damgalama yöntemlerinin her birinin kendine has farklı karakteristik özellikleri vardır. Bütün yöntemler için geçerli bir özellik grubu olmamasına karşın etkili bir damgalama için aşağıdaki temel karakteristik özellikler çok önemlidir.

1. Fark Edilmezlik (Görülmezlik/Duyulmazlık): Bir çok damgalama yönteminde damga, asıl görüntünün kalitesini etkilemeyecek şekilde içeriğe yerleştirilir. İnsan duyu organları tarafından damgalanmış görüntü ile asıl görüntünün ayırt edilmediği durumlarda, damga yerleştirme işlemi tümüyle fark edilmezdir. Bazı durumlarda damgalamadan kaynaklanan değişiklikler, asıl görüntü ile karşılaştırıldığında fark edilebilir. Fakat çoğu durumda asıl içeriğe alıcıda ulaşmak imkansız olduğundan bu karşılaştırma yapılamaz. Dolayısıyla damgalanmış görüntüde kabul edilebilir sınırlar içerisinde küçük değişiklikler vardır.
2. Taşıma Kapasitesi: Kullanılan uygulamaya bağlı olarak damga içerisinde korunan bilgi miktarıdır. Örneğin kopyalama koruma amaçlı uygulamalara kopyalama izni var yada yok şeklindeki bir bitlik bilgi genellikle yeterlidir. IFPI (International Federation for Phonographic Industry) tarafından ses damgalama yöntemleri için önerilen son teklife göre; işaret seviyesinden ve müzik türünden bağımsız olarak saniyede 20 bitlik ses damgası yeterlidir (IFPI RfP, 1996). Yine benzer şekilde kitapların telif haklarını korumak için kullanılan ISBN (International Standard Book Numbering) içinde yaklaşık 10 bitlik veya daha fazla ISRC (International Standard Recording Code)'nin damga olarak kullanılması yeterlidir. Ayrıca kitabın basım tarihi, telif hakları bilgisi de damgaya eklenebilir. Benzer şekilde Fridrich ve Goljan'a (1999) göre saniyede 60 bitlik, Kutter ve Petitcolas'a (1999) göre saniyede 70 bitlik bilgi damga olarak asıl görüntüye, video çerçevesine ya da ses parçasına yerleştirilmelidir.
3. Dayanıklılık: Kırılabilir damgalamada; damga, asıl içeriğin doğrulanmasında kullanıldığından işaret işleme yöntemlerine ya da asıl görüntü üzerindeki değişimlere karşı dayanıksızdır. Damganın kırılmış olduğunun algılanması asıl görüntünün değiştirildiğini gösterir dolayısıyla doğrulama sağlanmaz. Diğer damgalama uygulamalarında, asıl içeriğin isteyerek yada istemeyerek yapılan kalite azaltmalarında, damganın, asıl görüntüyle birlikte kalması istenir. İstemeyerek yapılan kalite azaltma işlemine örnek olarak, görüntü saklanması yada taşınması sırasında uygulanan kayıplı sıkıştırma işlemi, süzgeçleme, yeniden örnekleme, sayısal

analog dönüşüm, analog sayısal dönüşüm verilebilir. Diğer yandan bu işlemler asıl görüntüdeki damgayı bozmak için de kullanılabilir. Sonuçta dayanıklılık; asıl görüntünün kabul edilebilir kalitesinde azalma olmadan, damganın görüntüden çıkarılmaması ya da değiştirilmesinin mümkün olmaması olarak tanımlanabilir.

4. Güvenlik: Damgalama yöntemlerinin güvenliği, şifreleme yöntemlerinin güvenliği kullanılarak açıklanabilir. Kerkoff yasalarına göre bir veriyi şifrelemede kullanılan yöntemin yetkisiz kişilerce bilinmesi durumunda şifrelemenin güvenliği şifrelemede kullanılan anahtarın güvenliğine bağlıdır (Massey, 1992). Sonuçta damgalama sisteminin güvenliği, damga yerleştirme ve damga çıkarma yöntemleri bilinmesine karşın yetkisiz kişilerin damgayı algılamada ve çıkarmada bir sonuç elde edememesine bağlıdır (Swanson, Kobayashi ve Tewfik 1998).



Şekil 2.7 Sayısal damgalama sisteminin karakteristik özelliklerinin etkileşimi

Belirtilen tüm özellikler birbiriyle ilişkilidir. Şekil 2.7’de bu özelliklerin bir biriyle etkileşimi gösterilmiştir. Örneğin çok dayanıklı bir damgalama; damganın her bir bitiyle asıl görüntü üzerinde çok büyük değişiklikler yapılarak elde edilebilir. Buna karşın asıl görüntüde büyük değişiklikler fark edilebilir, bu durumda hissedilebilirlik artacaktır. Ayrıca damga içindeki veri miktarı damga yükü olarak yöntemin tasarlama aşamasında baştan belirlenir. Buradan damgalama sisteminin karakteristik özelliklerinin birbiriyle çeliştiği görülmektedir. Damgalama sisteminin tasarımı sırasında uygulama alanına göre en uygun karakteristik özellikler belirlenerek tercih yapılır.

2.3 Sonuç

Sayısal damgalama sistemi tasarımı yapılırken bu bölümde açıkladığımız sistem bileşenleri ve sistem karakteristik özellikleri temel alınır. ADD-AKD tabanlı sayısal damgalama yönteminde; damgalama, damga algılama, anahtar ve karakteristik özellikler belirlenirken açıklanan özellikler tasarımda kullanılmıştır.

3. SAYISAL DAMGALAMA YÖNTEMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI VE ANALİZİ

Bu bölümde ilk olarak literatürde yer alan sayısal damgalama yöntemleri sınıflandırılarak literatür taraması yapılacaktır. Daha sonra damganın eklendiği çoklu ortamlar için damgalama yöntemleri; belge, ses, görüntü için yapılan çalışmalar incelenecektir. Daha sonra uzamsal ve frekans boyutlarında görüntü damgalama ile ilgili çalışmalar analiz edilip, sonuçları, getirileri ve götürüleri detaylı bir şekilde ortaya konacaktır. Bunların ışığı altında ADD-AKD tabanlı sayısal damgalama yönteminin getirileri ve götürüleri ortaya konacaktır.

Çizelge 3.1 Sayısal damgalama yöntemlerinin sınıflandırılma ölçütleri

DAMGALAMA YÖNTEMLERİ	ÖLÇÜT	YÖNTEM
	algılanabilirlik	görünür damgalama
		görünmez damgalama
	dayanıklılık	dayanıklı damgalama
		yarı kırılabilir damgalama
		kırılabilir damgalama
	damga tipi	görüntü tabanlı damgalama
		gürültü tabanlı damgalama
	alıcıda veri ihtiyacı	gizli damgalama
		yarı gizli damgalama
		açık damgalama
	ortam	belge damgalama
		ses damgalama
		görüntü, video damgalama
	boyut	uzamsal boyutta damgalama
		frekans boyutunda damgalama

3.1 Sayısal Damgalama Yöntemlerinin Sınıflandırılması

Uygulama alanlarına ve amaçlarına bağlı olarak bir çok damgalama tekniği geliştirilmiştir. Ayrıca damga ekleme ve çıkarma algoritmalarına bağlı olarak bir çok damgalama tekniği mevcuttur. Sayısal damgalama yöntemleri Lee ve Jung (2001) tarafından belirlenen ölçütlere

göre sınıflandırılabilir. Çizelge 3.1’de sayısal damgalama yöntemlerinin bu ölçütlere göre sınıflandırılması görülmektedir.

Bu bölümde algılanabilirliğine, dayanıklılığına, eklenen damga tipine ve damga çıkarma işlemindeki veri gereksinimlerine göre sınıflandırma yöntemleri incelenecektir. Damganın eklendiği çoklu ortam kategorisine göre sınıflandırma yöntemleri çoklu ortamlar için damgalama yöntemleri bölümünde, damga işleme yöntemlerine göre sınıflandırma ise uzamsal ve frekans boyutunda damgalama yöntemleri bölümünde incelenecektir.

3.1.1 Algılanabilirliğe Göre Sınıflandırma

Damgalama yöntemleri algılanabilirliğe göre görünür ve görünmez damgalama yöntemleri olarak sınıflandırılabilir. Genellikle görünmez damgalama yöntemleri yaygın kullanım alanlarına sahiptir. Çizelge 3.2’de görünür ve görünmez damgalama yöntemlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Görünür damgalamada; görüntünün kullanım hakları hakkında bilgi vermek amacıyla damga görüntünün içine gömülür. Yasal olmayan yöntemler kullanılarak çıkarılamaz, görüntüyü ya da içeriği doğrulama amacıyla genellikle logo ve tescil etiketleri şeklinde kullanılır. Doğrudan uygulandığından dolayı kolay ve hızlıdır fakat asıl görüntü kalitesini azaltır, saldırılarla kırılabilir. Görünmez damgalama; yaygın kullanım alanına sahiptir, insan görüş sisteminin özellikleri temel alınarak tasarlanır. Asıl görüntü kalitesini azaltmaz, büyük çaplı işlemlerle değiştirilebilir.

Çizelge 3.2 Algılanabilirliğe göre sayısal damgalama yöntemleri

ÖZELLİKLER	GÖRÜNÜR DAMGALAMA	GÖRÜNMEZ DAMGALAMA
uygulama	- kullanım haklarını gösterir - illegal olarak çıkarılamaz - logo ve tescil etiketi şeklindedir	- yaygın kullanılır - insan görüş sistemini temel alır - ticari olarak tercih edilir
getirileri	- doğrudan uygulanır - hızlıdır	- genellikle asıl görüntü kalitesi üzerinde değişiklik yapmaz
götürüleri	- saldırılarla kırılabilir - asıl görüntünün kalitesini azaltır	- büyük çaplı işlemlerle değiştirilir

3.1.2 Dayanıklılığa Göre Sınıflandırma

Bir çok sayısal damgalama yönteminde dayanıklılık esas olmasına karşın dayanıklılığın tercih

edilmediği farklı yöntemlerde mevcuttur. Sayısal damgalama yöntemleri dayanıklılığa göre dayanıklı, yarı kırılabilir ve kırılabilir damgalama yöntemleri olarak üç grupta sınıflandırılır.

Dayanıklı damgalama; sayısal damgalama dayanıklılık en önemli faktörlerdendir. Bir çok uygulamada dayanıklı damgalama yöntemleri tercih edilir. Yarı kırılabilir damgalama yöntemleri damgalanmış görüntüde bir miktar değişimi kabul edebilme özelliğine sahiptir. Örneğin kayıplı şıkıştırma yöntemlerinden gelen kuvantalama gürültüsü tolere edilebilir. Kırılabilir damgalama yöntemlerinde eğer damgalanmış görüntüye saldırıda bulunulmuşsa damgalama kolaylıkla bozulacak şekilde tasarlanmıştır. Bu tür damgalama yöntemleri asıl veriyi korumak ve doğrulamak için kullanılır.

3.1.3 Eklenen Damga Tipine Göre Sınıflandırma

Kullanılan damga tipine göre damgalama yöntemleri gürültü tabanlı yöntemler ve görüntü tabanlı yöntemler olarak sınıflandırılır. Desen algılama algoritmalarındaki başarılı çalışmalardan sonra gürültü tabanlı yöntemler görüntü tabanlı yöntemlere göre daha çok tercih edilmektedir. Çizelge 3.3'te eklenen damga tipine göre damgalama yöntemleri verilmiştir.

Çizelge 3.3 Eklenen damga türüne göre sayısal damgalama yöntemleri

YÖNTEM	VERİ TÜRÜ
gürültü tabanlı damgalama	sözde rastlantısal gürültü dizileri
	Gauss gürültü dizileri
	kaotik gürültü dizileri
görüntü tabanlı damgalama	ikili görüntü
	pul
	logo
	etiket

Gürültü tabanlı yöntemlerde sözde rastlantısal gürültü, Gauss gürültüsü veya kaotik gürültü dizileri damga olarak kullanılır. Sözde rastlantısal gürültü dizileri; kolay ve hızlı olarak üretilirler, geniş kullanım alanına sahiptirler, içsel ilişki fonksiyonlarının karakteristiği iyidir, kriptografik saldırılara karşı dayanıklıdır, gürültü, sıkıştırma ve işaret işlemeye karşı zayıftır. Gauss gürültü dizileri; Gauss dağılımından rasgele üretilirler, çoklu eklenmiş damgaların çıkarılmasında kullanılırlar. Kaotik dizilerin üretilmesi kolaydır, bir başlangıç değerinin

değiştirilmesiyle yeni bir dizi elde edilir. Görüntü eklemeli yöntemlerde ikili görüntü, pul, logo veya etiket damga olarak kullanılır. Damga çıkarma işleminden sonra damga gözle ayırt edilebilir, görüntüler çeşitli fonksiyonlar kullanılarak rasgele üretilebilir. Bu tür yöntemler çoklu damga eklemeye karşı zayıftır.

3.1.4 Damga Algılama/Çıkarma İşlemindeki Veri Gereksinimlerine Göre Sınıflandırma

Damga algılama/çıkarma işleminde, alıcı tarafta; asıl görüntü, anahtar ve damga işaretinin gerekliliğine göre damgalama yöntemleri gizli, yarı gizli ve açık damgalama olarak sınıflandırılır.

Gizli damgalama yöntemlerinde alıcı tarafta en az anahtar ve/veya damga işaretine ihtiyaç vardır. Gizli damgalama yöntemlerinde damgalanmış görüntüden damgayı çıkarıp asıl görüntü elde edilebilir. Yarı gizli damgalama yöntemlerinde damgalanmış görüntüdeki damgayı algılamak için sadece anahtar bilgisine ihtiyaç vardır. Açık damgalama yöntemlerinde damgalanmış görüntüdeki damgayı algılamak için ne anahtar bilgisine ne de damgaya ihtiyaç vardır. Bu sebeble açık damgalama yöntemleri kör damgalama olarak da adlandırılır.

3.2 Çoklu Ortamlar İçin Damgalama Yöntemleri

Damganın eklendiği çoklu ortama göre sayısal damgalama yöntemleri; belge damgalama, ses damgalama, görüntü, grafik ve video damgalama olarak sınıflandırılır. Belge damgalama konusunda, damgalama yöntemlerine temel oluşturan ilk çalışmalar yapılmıştır. Görüntü damgalama üzerinde en çok çalışma yapılan damgalama konusudur. Grafik ve video damgalama yöntemleri, görüntü damgalama yöntemlerinin grafik ve video işaretlerine uyarlanmış halidir. Grafik, video ve ses damgalama yöntemleri de geniş kullanım alanına sahip internet uygulamaları için giderek önem kazanmaktadır. (Podilchuk ve Delp, 2001). Çizelge 3.4'te çoklu ortamlar için literatürde sunulan en önemli damgalama yöntemleri verilmiştir.

3.2.1 Metin Damgalama

Sayısal damgalama kullanılarak telif haklarının korunması fikri ilk olarak metin damgalama alanında yapılan çalışmalarla ortaya konmuştur. Bu yöntemlerde damga font şekillerine veya kelimeler ile satırlar arasındaki boşluklara yerleştirilir ve metin bu şekilde basılır. Metin

damgalama yöntemlerinin zayıf yönü, eğer fontlar değiştirilirse damganın algılanması mümkün değildir. Daha sonraki çalışmalarla metin damgalamanın elektronik versiyonları ortaya çıkmıştır. Günümüzde elektronik metin damgalama yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır.

Brasil vd. (1994, 1995, 1999) tarafından yapılan çalışmalarda yazarlar yazı karakterleri üzerinde küçük değişiklikler yaparak satır ve kelime ötelemeye dayalı metin damgalama yöntemlerini geliştirmişlerdir. Bu yöntemlerde metnin ikili yazı bölgelerinin damgalanması üzerinde yoğunlaşmıştır. Damga algılama işlemi gürültü azaltmaya yönelik ön işlemler de içermektedir.

Çizelge 3.4 Çoklu ortamlar için sunulan sayısal damgalama yöntemleri ve özellikleri

ORTAM	YAZAR	ÖZELLİKLER
metin	Brasil (1994, 1995, 1999)	- yazı karakterleri üzerinde küçük değişiklikler - satır ve kelime ötelemeye dayalı metin damgalama - metnin ikili yazı bölgelerinin damgalanması
ses	Bender, Gruhl ve Morimoto (1996)	- genişletilmiş spektrum - yansıma kodlaması - faz kodlaması
	Boney, Tewfik ve Hamdy (1996) ve Swanson vd.(1997)	- insan görüş sistemi temelli damgalama - frekans maskeleyme - zaman boyutunda ağırlıklandırma
görüntü	Schyndel, Tirkel, ve Osborne (1994)	- m uzunluklu sözde rastlantısal gürültü deseni - pikselin parlaklık değerinin en düşük anlamlı bitine eklenmesi
	Cox vd. (1995, 1997)	- bütün görüntüye AKD uygulanması - damganın Gauss dağılım fonksiyonu yardımıyla üretilen gerçel sayılardan oluşturulması - ilk katsayı dışındaki alçak frekans AKD katsayılarına damganın uygulanması

3.2.2 Ses Damgalama

Ses damgalama ile ilgili bir çok çalışmada damga ya doğrudan ses işaretine eklenmekte ya da sıkıştırılmış ses paketlerine bit dizisi olarak eklenmektedir. Görüntü ve video damgalamada

da olduğu gibi ses işaretleri için etkili ve kabul edilebilir bir damgalama üretmek için insan duyuş sisteminin kullanılması gereklidir. Ses işaretlerinin damgalanmasında duyulmazlık ve sıkıştırma, filtreleme, A/D dönüşüm, D/A dönüşüm karşısında sağlamlık çok önemlidir.

Bender, Gruhl ve Morimoto (1996) tarafından ses damgalama için genişletilmiş spektrum, yansıma kodlaması ve faz kodlaması yöntemleri önerilmiştir. Bu yaklaşımlar Boney, Tewfik ve Hamdy (1996) ve Swanson vd.(1997)'de sözde rastlantısal sayı dizisinden oluşan damga insan duyuş sisteminin frekans maskeleyme özelliklerinden yararlanılarak işlenip, zaman boyutunda ağırlıklandırılarak ses işaretine yerleştirilir. Sözde rastlantısal dizinin ilişki özellikleri algılama için gereklidir ve duyulmazlığı sağlamak için duyuş modeline uygulanmıştır. Algılama işleminde; alınan ses işareti ile damga arasındaki ilişki hesaplanarak damganın varlığı ya da yokluğu belirlenir.

Yeni nesil taşınabilir müzik aletlerinde telif haklarını korumak ve sayısal müzik işaretlerinin güvenliğini sağlamak için bilgi teknoloji firmaları, tüketici elektroniği firmaları, güvenlik teknoloji firmaları, ses kayıt ve üretim firmaları ve internet sağlayıcı firmalar bir araya gelerek SDMI (Secure Digital Music Initiative) yapısını oluşturmuşlardır. SDMI tarafından yapılan çalışmalar sonunda bu iş için iki aşamalı bir plan önerilmiştir. İlk aşama, bütün cihazlara uyumlu, damgalanmış müzik parçalarının her türlü cihazda dinlenmesine izin veren, damgayı gösteren bir damgalama yönteminin belirlenmesidir. İkinci aşama, müzik parçasında yerleşik damgayı algılayan, buna göre yeni parçaların dinlenmesine izin veren, fakat izinsiz kullanımı engelleyen yapının tüm cihazlarda uygulanmasıdır. Duyulmazlık, sağlamlık, dayanıklılık, güvenilirlik, kolay uygulanabilirlik, maliyet ve sıkıştırma yeteneği kriterlerine göre SDMI tarafından yapılan uzun testler sonucunda ARIS ses damgalama yöntemi ilk aşamada kullanılmak üzere belirlenmiştir.

3.2.3 Görüntü, Grafik ve Video Damgalama

Bir çok damgalama tekniği sabit görüntüler için geliştirilmiştir. Siyah-beyaz yada renkli görüntülerin damgalanmasında, damga doğrudan asıl görüntüye eklenir. Yöntemin özelliklerine göre damga parlaklık değerine, renk bileşenlerine ya da asıl görüntünün dönüştürülmüş şekline eklenir. Görüntü damgalama yöntemlerinin tasarımında görölmezlik, yaygın işaret işleme yöntemleri karşısında dayanıklılık ve damga yükü önemlidir.

Görüntü damgalama sisteminin tasarımında hissedilmezliği - görünmezlik - artırmak için insan görüş sistemlerinin karakteristik özelliklerinden oldukça fazla yararlanır. Damga;

sıkıştırma - JPEG, MPEG – filtreleme, ölçeklendirme, kırpma, A/D dönüşüm, D/A dönüşüm, geometrik bozulma, toplamsal gürültü gibi yaygın işaret işleme uygulamalarına maruz kaldığında dayanıklılığını korumalıdır. Damga yükü ise damga olarak kullanılan işarete yer alan bilgi miktarıdır. Görüntü damgalama yöntemlerinin bir çoğu toplamsaldır, yani damga asıl görüntüye ya da görüntünün dönüştürülmüş haline doğrudan eklenir. Görünmezliği artırmak için damganın asıl işaretle bağlantılı olarak ölçeklenmesi iyi olur. Bu nedenle uyarlamalı yöntemler görünmezliği artırmada oldukça başarılıdır.

Damga bilgisi bir seri numarasına karşı düşen - müşteri numarası, kredi kartı numarası – ikili sayı dizisinden, logodan, görüntüden ya da imzadan oluşur. Bu durumda damga işareti de; damga bilgisi ile gizli/açık bir anahtar yada damga bilgisi, asıl görüntü ve gizli/açık bir anahtar yardımıyla elde edilir. Yine bir çok uygulamada sadece bir bitlik damga işareti asıl görüntüye eklendiğinden damga işaretini algılamak için klasik algılama yöntemleri tercih edilir. Bu tür damgalama yöntemleri yayılmış spektrum iletişim sistemlerine benzediğinden yayılmış spektrum damgalama sistemleri olarak adlandırılır.

Grafik ve video damgalama; görüntü damgalamanın bir uzantısıdır. Görüntü için tasarlanan damgalama yöntemi grafik ve video özellikleri dikkate alınarak yeniden düzenlenir. Grafik ve video damgalama uygulamalarında gerçek zamanlı damga çıkarma ve sıkıştırma karşısında dayanıklılık önem kazanır. Görüntü damgalama konusunda daha önce yapılan çalışmaların sonuçları bir sonraki bölümde daha detaylı olarak verilecektir.

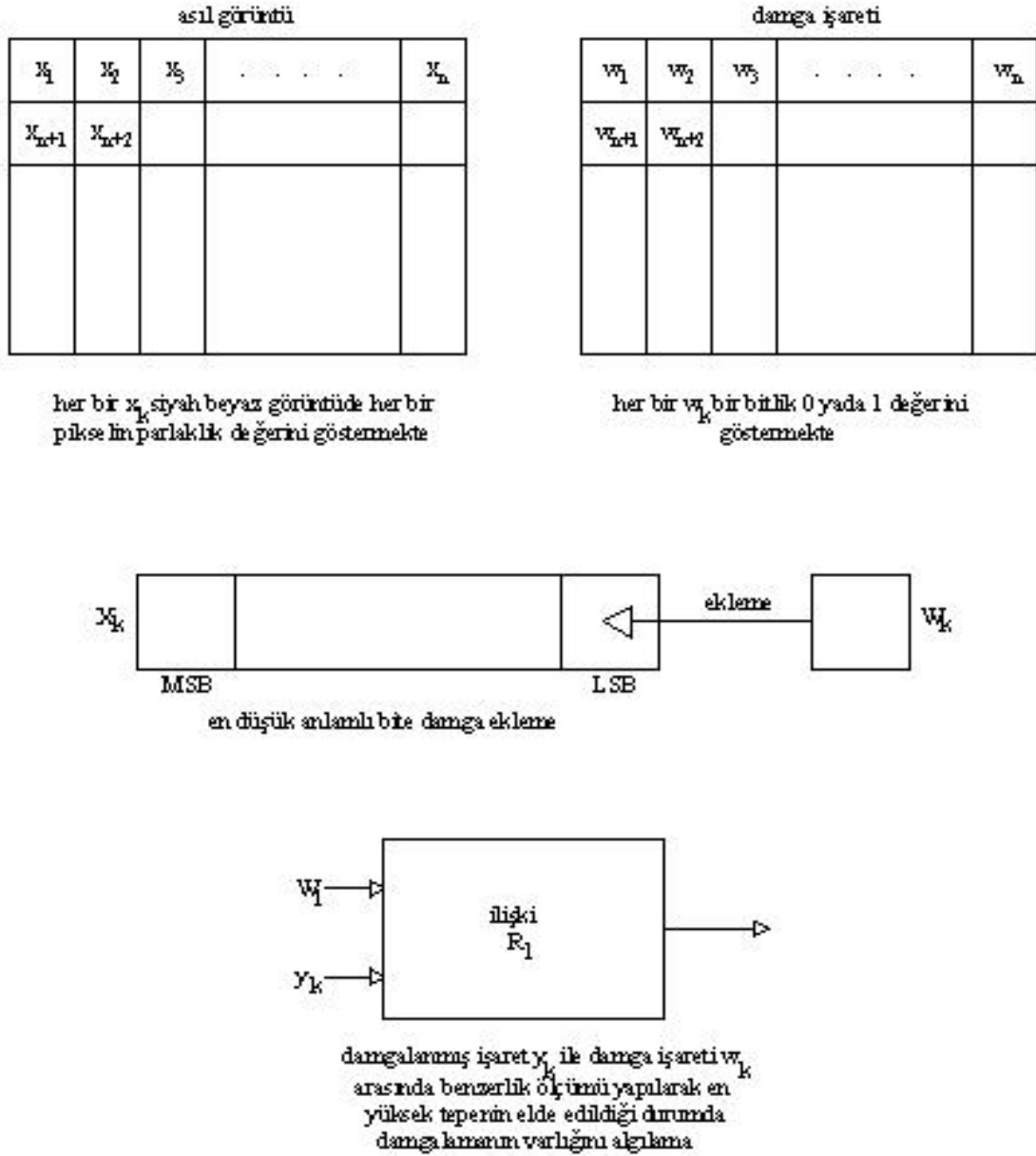
3.3 Uzamsal ve Frekans Boyutlarında Damgalama Yöntemleri

Damga işleme metotlarına göre sayısal damgalama yöntemleri uzamsal boyut ve frekans boyutu yöntemleri olmak üzere iki kategoride sınıflandırılır. Uzamsal boyutta en düşük anlamlı bit, yama metotları yaygın olarak kullanılır. Frekans boyutunda rasgele fonksiyonlar, genişletilmiş spektrum metotları kullanılır.

3.3.1 Uzamsal Boyutta Görüntü Damgalama

Görüntü damgalama konusunda ilk yapılan çalışmalarda, damganın uzamsal boyutta algılanmasının zor olması amaçlanmıştır. Bu nedenle görüntü piksellerinin parlaklık değerlerine küçük değişiklikler eklenmiştir. Damga, pikselin parlaklık değerine doğrudan eklenebildiği gibi parlaklık değerinin en düşük anlamlı bitine de eklenebilir. En düşük anlamlı bitine damga ekleme yöntemi grafiksel olarak Şekil 3.1’de anlatılmıştır. Uzamsal boyutu

temel alan damgalama yöntemlerinde damgalanmış görüntüden bir takım veriler çıkararak sayısal damgaya ulaşmak hemen hemen imkansızdır. Uzamsal boyutta damgalama yöntemleri kesme veya döndürme işlemlerine karşı dayanıklıdır fakat gürültü ve sıkıştırma işlemlerine karşı dayanıksızdır. Çizelge 3.5'te uzamsal boyutta damgalama yöntemleri özetlenmiştir.



Şekil 3.1 En düşük anlamlı bite damga ekleme ve algılama işleminin grafiksel anlatımı

m uzunluklu sözde rastlantısal gürültü deseni damga olarak pikselin parlaklık değerinin en düşük anlamlı bitine eklenmiştir. Algılamada kolaylık sağlaması açısından m dizisinin bileşenleri birbiri arasında yüksek ilişkili olarak belirlenmiştir. Bu tekniğin uygulanması hesaplama açısından da oldukça uygundur. Söz konusu yöntem ilk olarak Schyndel, Tirkel, ve

Osborne (1994) tarafından sunulmuştur, daha sonra Schyndel ve Osborne (1993) tarafından iki boyuta genişletilmiştir.

Çizelge 3.5 Uzamsal boyutta sunulan damgalama yöntemleri ve özellikleri

YAZAR	ÖZELLİKLER
Schyndel, Tirkel, ve Osborne (1994)	- m uzunluklu sözde rastlantısal gürültü deseni - pikselin parlaklık değerinin en düşük anlamlı bitine eklenmesi - algılamada kolaylık için m dizisinin bileşenlerinin birbiri arasında yüksek ilişkili olarak belirlenmesi
Schyndel, ve Osborne (1993)	- uygulama iki boyuta genelleştirme
Wolfgang ve Delp (1996)	- m uzunluklu sözde rastlantısal gürültü deseni, iki boyutlu $M \times M$ boyutunda matrise dönüştürülmesi
Walton (1995)	- en düşük anlamlı bit bazlı teknikler için toplamsal kontrol yöntemi
Bender, Gruhl, ve Morimoto (1996)	- doku bazlı damga, aynı dokudaki görüntü parçasına yerleştirme - dokuların benzerliğine dayalı damgalama
Pitas (1996)	- görüntüyü A ve B gibi iki alt gruba ayırma - A grubunun parlaklığı küçük bir miktar artırılırken B grubunun parlaklığını aynı miktarda azaltma - alt grupların yerleri gizlidir fakat tüm görüntü üzerine uygulandığını varsayma - damganın, iki alt grubun farklarının ortalaması alınarak bulunması
Kutter, Jordan, ve Bossen (1998)	- RGB formatındaki renkli görüntülerde mavi bileşene insan görüş sistemine duyarlı bir faktörle damga ekleme

Wolfgang ve Delp (1996) tarafından m damga dizisi iki boyutlu olarak yeniden şekillendirilmiş, damgalama ve algılama işlemleri blok bazlı olarak gerçekleştirilmiştir. Blok bazlı metot değişken iki boyutlu damgalama olarak literatürde yer alır, özellikle JPEG sıkıştırma karşısında dayanıklıdır. Bu yöntem blok bazlı olarak görüntü üzerindeki değişimleri göstermek amacıyla etkili bir kırılabilir damgalama yöntemi olarak sunulmuştur (Wolfgang ve Delp, 1999). Yine ilk yapılan çalışmalarda Walton (1995) tarafından en düşük anlamlı bit bazlı teknikler için toplamsal kontrol yöntemi önerilmiştir.

Bender, Gruhl, ve Morimoto (1996) tarafından önerilen yöntemde doku bazlı damga, aynı dokudaki görüntü parçasına yerleştirilir. Buradaki yaklaşım dokuların benzerliğine dayanmaktadır. Damgayı duyu organlarıyla algılamak çok zordur, ilişki algılayıcı kullanılarak damga algılanır. Aynı kaynakta sunulan başka bir damgalama yöntemi de yama yöntemidir. Bu yöntemde görüntü A ve B gibi iki alt gruba ayrılır, A grubunun parlaklığı küçük bir miktar artırılırken B grubunun parlaklığı aynı miktarda azaltılır. Parlaklık miktarındaki değişim görünmezliği etkilemeyecek şekilde seçilir. Alt grupların yerleri gizlidir fakat tüm görüntü üzerine uygulandığı kabul edilir. Damga, iki alt grubun farklarının ortalaması alınarak bulunur. Damganın olmadığı durumda bu ortalama sıfır değerini alır. Bu yaklaşımın değişik türleri Pitas (1996) tarafından sunulmuştur. Başka bir uzamsal boyuttaki damgalama yöntemi ise RGB formatındaki renkli görüntülerde mavi bileşene insan görüş sistemine duyarlı bir faktörde damga eklenmesidir (Kutter, Jordan, ve Bossen, 1998).

3.3.2 Frekans Boyutunda Görüntü Damgalama

Frekans boyutunda damgalama; damga ekleme işleminde algısal kriterlerin kullanımına imkan sağlar. Frekans boyutunda tasarlanan damgalama yöntemleri yaygın sıkıştırma yöntemlerine karşı dayanıklıdır, ayrıca sıkıştırılmış bit dizisine doğrudan damga eklemeyi mümkün kılar. Genellikle Ayrık Kosinüs Dönüşümü (AKD), Ayrık Fourier Dönüşümü (AFD) ve Ayrık Dalgacık Dönüşümü (ADD) frekans boyutuna dönüşümlerde kullanılır. Bu tekniklerde damga, asıl verinin tüm boyutlarına dağıtılır ve damga bir kez gömüldükten sonra silinmesi imkansızdır.

3.4 Frekans Boyutunda Sayısal Görüntü Damgalama Yöntemlerinin Analizi

Daha öncede belirttiğimiz gibi frekans boyutunda damgalama uzamsal boyuttaki uygulamalara göre dayanıklılık ve istenmeyen saldırılar gibi bir çok konuda avantajlar getirmektedir. İlk olarak AFD boyutunda yapılan çalışmalar incelenecektir. AKD ve ADD tabanlı damgalama yöntemlerinin analizi yapılırken; AKD ve ADD dönüşüm katsayılarının karakteristik özellikleri ve bu katsayılarından hangilerinin nasıl seçileceği ele alınacaktır. Ayrıca her boyutta daha önce yapılan çalışmalar ve elde edilen sonuçlar açıklanacaktır. Elde edilen bu verilerle yapılan sentezleme ile ADD-AKD tabanlı damgalama yöntemi, getirileri ve götürüleri ortaya konacaktır.

3.4.1 Ayrık Fourier Dönüşümü Tabanlı Görüntü Damgalama

Ruanaidh, Dowling ve Boland, (1996) tarafından önerilen damgalama yönteminde damga, görüntünün algısal olarak önemli AFD faz bileşenlerine gömülür. AFD’de faz bileşenleri genlik bileşenlerinden görüntünün aşılabilirliği açısından daha önemlidir. Faz bileşenlerinin kullanılmasının bir başka nedeni haberleşme teorisinden iyi bilindiği gibi faz modülasyonunun genlik modülasyonu ile karşılaştırıldığında gürültü performansı açısından daha iyi sonuç vermesidir. Bütün frekans tabanlı yöntemlerde olduğu gibi AFD tabanlı yöntemlerde damga, dayanıklılığı artırmak için büyük genlikli dönüşüm katsayılarına da yerleştirilir. Damgayı kırmak için bu katsayıların üzerinde işlem yapılması ya da görüntüden çıkarılması durumunda görüntü kalitesinde büyük azalma meydana gelir. Çizelge 3.6’da AFD tabanlı damgalama yöntemleri özet olarak verilmiştir.

Herrigel vd. (1998,1998), Pereira (1999) tarafından önerilen yöntemlerde dönüşüm ve ötelemeyele değişmezlik özelliklerinden dolayı AFD genlik bileşenleri kullanılmıştır. AKD ve ADD tabanlı damgalama yöntemleri hakkında takip eden bölümde detaylı bilgi verilecektir.

Çizelge 3.6 AFD tabanlı sayısal damgalama yöntemleri

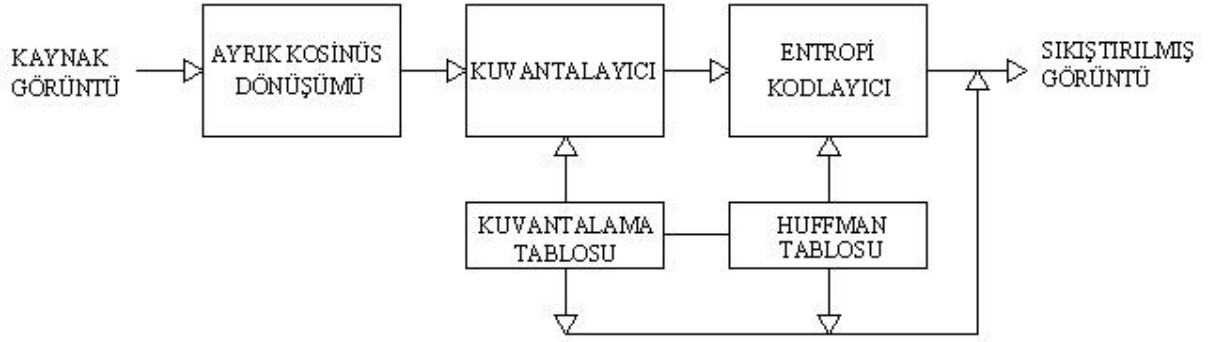
YAZAR	ÖZELLİKLER
Ruanaidh, Dowling ve Boland, (1996)	- damga, AFD dönüşümü alınan görüntünün algısal olarak önemli faz bileşenlerine gömülür - büyük genlikli dönüşüm katsayıları tercih edilir.
Herrigel vd. (1998,1998), Pereira (1999)	- AFD dönüşüm ve ötelemeyele değişmezlik özelliklerinden dolayı genlik bileşenleri damgalanır

3.4.2 Ayrık Kosinüs Dönüşümü Tabanlı Görüntü Damgalama

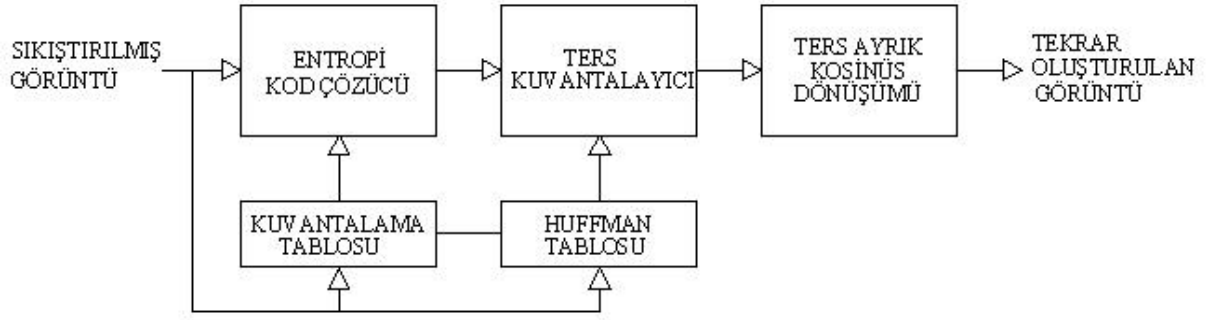
Görüntüler için en yaygın kullanıma sahip dönüşüm yapısı, blok bazlı AKD yöntemidir. Blok bazlı AKD yöntemi, JPEG görüntü kodlayıcıların ve MPEG video kodlayıcılarının temelini oluşturur. JPEG ve MPEG kodlamasının AKD’ye dayalı yapısının iyi anlaşılması ve bu yapının damga eklemede kullanılması nedeniyle AKD tabanlı yöntemler sıkıştırma karşısında oldukça dayanıklıdır. Sırasıyla şekil 3.2’de JPEG kodlayıcı ve şekil 3.3’de JPEG kod çözücü görülmektedir.

AKD tabanlı yöntemlerin başka bir avantajı da insan görüş sisteminin özelliklerinin JPEG kuvantalama tablosunun oluşturulmasında kullanılmasından dolayı iyi incelenmiş ve tavsiye edilmiş olmasıdır. Dolayısıyla damgalamada insan görüş sisteminin özelliklerinin AKD

boyutunda uyarlanması daha kolaydır. Ayrıca JPEG çalışmalarından elde edilen sonuçlar damganın neden olduğu görsel etkiyi kestirmek ve küçültmek için kullanılır.

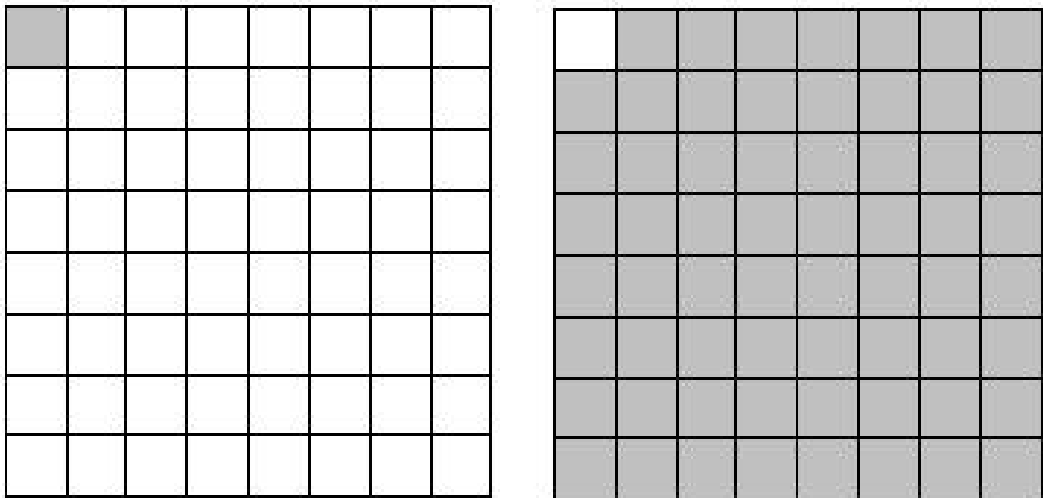


Şekil 3.2 JPEG kodlayıcı blok yapısı



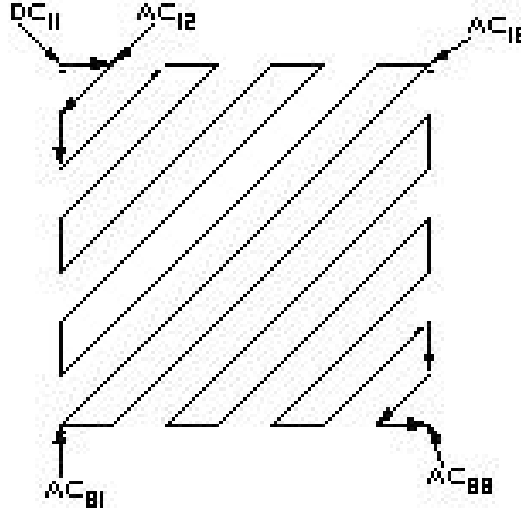
Şekil 3.3 JPEG kod çözücü blok yapısı

AKD katsayılarının karakteristik özellikleri şu şekilde sıralanabilir. Şekil 3.4'de AKD'nin DC ve AC katsayıları görülmektedir.



Şekil 3.4 AKD'de DC katsayı ve AC katsayıları

- 8x8 blokluk AKD katsayılarından DC katsayısının genliği ilgili bloğun ortalama gri seviyesi ile orantılıdır (Huang, vd. , 2000).
- Bir kaç katsayı ile mükemmel işaret yaklaşımı sağlanabilir. DC ve bir kaç AC katsayı ile görüntü yeniden anlaşılabilir şekilde oluşturulabilir.
- Katsayılar şekil 3.5'te görüldüğü gibi zigzag olarak sıralandıklarında düşük frekanstan yüksek frekansa ve yüksek genlikten düşük genliğe sıralanmış olurlar.



Şekil 3.5 8x8 blok için AKD katsayılarının zigzag olarak sıralanması

- Eğer bir bloktaki yüksek frekanslı katsayıların çoğu sıfırsa o blok yumuşak bir görüntü bloğuna aittir, köşe içermez .
- Eğer bir bloktaki düşük frekanslı AC katsayıları yüksek genlik değerine sahipse, bunlar o blokta yer alan köşeleri temsil ederler (Jellink, 2000).
- AKD hızlı bir dönüşümdür, $O(n \log n)$ işlemle gerçekleştirilir.

AKD katsayılarından geniş algısal kapasiteye sahip ve genliği büyük olan katsayılar damgalanmak üzere seçilmelidir. Bu katsayılar daha güçlü damga eklenebilir ve daha az algısal bozulma meydana gelir. Ayrıca bu katsayılar alçak geçiren süzgeçleme, gürültü ekleme gibi yaygın görüntü işleme saldırılarından daha az etkilenirler (Huang vd. , 2000). Bu ölçütleri sağlayan orta frekanslı AC katsayıları bir çok damgalama yönteminde damga eklenmek üzere seçilirler. Yüksek frekanslı AC katsayıları görüntü işleme saldırılarından çok etkilenirler. Bu katsayıların görüntüden çıkarılması bile görüntü kalitesi üzerinde büyük değişim yaratmaz. Bu nedenlerle yüksek frekanslı AC katsayıları damgalama için uygun

değildir. DC katsayı damgalama için kullanılabilir. Öncelikle, DC katsayının genliği AC katsayılara göre oldukça büyüktür, bu nedenle yüksek algısal kapasiteye sahiptir. İkincil olarak, DC katsayı yaygın görüntü işleme saldırılarına AC katsayılardan daha az duyarlıdır. Belirtilen getirileri yanında, DC katsayılara damga eklenmesi durumunda fark edilmezlik azalır, bloklanma etkisi daha belirgin hale gelir. Çizelge 3.7’de AKD tabanlı damgalama yöntemlerinin özeti verilmiştir.

İlk AKD bazlı damgalama yöntemi Koch ve Zhao (1995) tarafından önerilmiştir. Bu yöntemde; AKD dönüşümü 8×8 ’lik bloklara uygulanır, ikili kodlanmış damga dizisi sözde rastlantısal blok alt setinin orta frekans bileşenlerine karşı düşen katsayılarını kodlamak için kullanılır. Orta frekans bileşenlerinin kullanımı yaklaşımı oldukça farklı ve yeni bir yaklaşımdır. Çünkü yüksek frekans katsayıları saldırılar karşısında dayanıksız ve alçak frekans katsayıları algısal olarak önemlidir ve değişikliklere daha duyarlıdır.

Frekans boyutunda diğer etkileyici çalışmada Cox vd. (1995, 1997) tarafından ortaya konmuştur. Bu yaklaşımda haberleşme teorisindeki yaygın spektrum prensipleri damgalama bağlamında ele alınarak uygulanmış ve bu yönde çığır açmıştır. Yayınlanan sonuçlara göre yöntem; görüntü kalitesi, işaret işleme tabanlı saldırılara dayanıklılık ve damgayı çıkarma yönünden oldukça başarılıdır. Yöntemin tasarımı damgalama sistemlerinin algısal geçirgenlik ve dayanıklılık özellikleri hedef alınmıştır. AKD dönüşümü bütün görüntüye uygulanır, damga daha önceden belirlenmiş ilk katsayı dışındaki alçak frekans katsayılarına uygulanır. Damga, Gauss dağılım fonksiyonu yardımıyla üretilen gerçel sayılardan oluşur ve AKD katsayılarına eklenir. Damga dizisinin boyu istenilen frekans aralığında yer alan katsayılarının boyuna göre belirlenir. Bu yöntemde damga algılama ve çıkarma işleminde asıl görüntüye de ihtiyaç duyulur. Bu yaklaşımın değişik bir versiyonu olan değişken uzunluklu AKD tabanlı damgalama Boland, O’Ruanaidh ve Dautzenberg, (1995) tarafından ortaya konmuştur. AKD katsayıları genlik değerlerine göre sıralandıktan sonra kullanıcı tarafından belirlenen yüzde kadar enerji taşıyan ilk n büyük katsayı damgalanmaktadır.

Diğer bir AKD tabanlı damgalama yöntemi, damgalama sistemlerinin hissedilmezlik özelliğini hedef alarak insan görüş sistemine dayalı yaklaşımı geliştirmiştir. İnsan görüş sisteminin üç temel özelliği; frekans duyarlılığı, parlaklık duyarlılığı ve zıtlık maskeleyedir. Swanson, Zhu ve Tewfik (1996) tarafından ortaya konulan yöntemde insan görüş sisteminin “contrast” maskeleye özelliğinden yararlanılarak AKD katsayılarının “just noticeable distortion(JND)”u hesaplandıktan sonra uygun katsayılar damgalanır. Benzer şekilde Podilchuk ve Zeng (1998) tarafından ortaya konulan görüntü uyarlamalı AKD blok bazlı

yöntemde insan görüş sisteminin özelliklerini kullanmaktadır. Piva vd. (1997) tarafından ortaya konulan yöntemde ise görüntünün AKD dönüşümü alındıktan sonra damga boyu görüntünün karmaşıklığına göre uyarlanmaktadır. Bors ve Pitas (1996) ve Piva vd. (1997) tarafından önerilen iki yöntemde damga algılamada asıl görüntüye ihtiyaç duyulmamaktadır.

Çizelge 3.7 AKD tabanlı sayısal damgalama yöntemleri

YAZAR	ÖZELLİKLER
Koch ve Zhao (1995)	- asıl görüntünün 8x8'lik bloklara AKD dönüşümü - ikili kodlanmış damga dizisi sözde rastlantısal blok alt setinin orta frekans bileşenlerine karşı düşen katsayılarını ekleme
Cox vd. (1995, 1997)	- bütün görüntüye AKD uygulanması - damganın Gauss dağılım fonksiyonu yardımıyla üretilen gerçel sayılardan oluşturulması - ilk katsayı dışındaki alçak frekans AKD katsayılarına damganın uygulanması
Boland, O'Ruanidh, ve Dautzenberg, (1995)	- AKD katsayılarının genlik değerlerine göre sıralanması - belirlenen yüzde kadar enerji taşıyan ilk n büyük katsayı damgalanması
Swanson, Zhu ve Tewfik (1996)	- insan görüş sisteminin zıtlık maskeleye özelliğinin kullanılması - AKD katsayılarının "just noticeable distortion"u hesaplandıktan sonra uygun katsayıların damgalanması
Podilchuk ve Zeng (1998)	- görüntü uyarlamalı AKD blok bazlı damgalama - insan görüş sisteminin özelliklerinin kullanılması
Piva vd. (1997)	- damga boyunun görüntünün karmaşıklığına göre belirlenmesi
Hernández, Amado, ve Pérez-Gonzalez (2000)	- damga algılamada yaygın olarak kullanılan Gauss yaklaşım yerine geliştirilmiş Gauss yaklaşım uygulanması

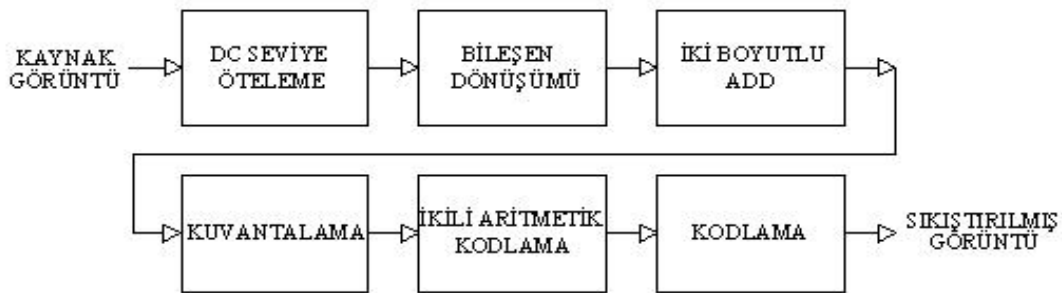
AKD boyutunda ilişki tabanlı damgalama sistemlerinin performansını artırmak için damga algılamada yaygın olarak kullanılan Gauss yaklaşım yerine geliştirilmiş Gauss yaklaşım uygulanmıştır (Hernández, Amado, ve Pérez-Gonzalez, 2000). Yazarlar, görüntüler için AKD boyutunda damgalama yönteminin teorik analizini uygulayarak gerçek performans üzerinde sistem parametrelerinin ve görüntü karakteristiklerinin etkisini hesaplamışlardır. Bu sonuçları kullanarak uygun algılama eşiğini ve kesin pozitif algılama olasılığını ortaya koymuşlardır.

Frekans boyutunda AKD katsayılarını değiştirerek uygulanan damgalama yöntemlerinin; parlaklık ve zıtlık ayarlama, gamma düzeltme, süzgeçleme, bulanıklık giderme gibi istenmeyen görüntü işleme saldırıları karşısında ve sıkıştırma karşısında dayanıklılık gibi çok önemli özellikleri vardır. Bunun yanında AKD tabanlı yöntemler kırpmaya gibi geometrik saldırılara karşı uygun çözümler değildir. Yine de uzamsal boyutta önerilen yöntemlerden AKD tabanlı yöntemler daha dayanıklıdır.

3.4.3 Ayırık Dalgacık Dönüşümü Tabanlı Görüntü Damgalama

Damgalama yönteminin dayanıklılığı damganın taşıdığı enerji artırılarak geliştirilir. Bunun yanında damganın enerjisini artırmak görüntü kalitesinde azalmaya neden olur. İnsan görüş sisteminin özelliklerini kullanarak damganın enerjisi bölgesel olarak artırılabilir öyle ki insan gözü tarafından fark edilemez. Sonuç olarak insan görüş sisteminin özellikleri kullanılarak algısal olarak görülemez damga daha fazla enerji taşıyarak görüntüye gömülür. Bu açıdan bakıldığında Ayırık Dalgacık Dönüşümü (ADD) çok etkili bir dönüşümdür. Çünkü ADD insan görüş sistemi için etkili frekans modeli oluşturmada hesaplama kolaylığı sağlar. Örneğin insan gözü yüksek çözünürlüklü ADD bantlarında gürültüye karşı daha az duyarlıdır.

Ayrıca “Embedded Zero-Tree Wavelet (EZW)” gibi ADD tabanlı görüntü ve video kodlama yöntemleri JPEG2000 ve MPEG-4 görüntü ve video kodlama standartlarında yer almaktadır. Şekil 3.6 JPEG2000 kodlayıcı, şekil 3.7’de JPEG2000 kod çözücü ve şekil 3.8’de “Embedded Zero-Tree Wavelet yapısı ve alt bant ayrışımı için tarama sırası görülmektedir. Bunların yanında ADD ayrıştırma kullanılarak gerçel zamanlı damgalama uygulamaları yapılabilir.



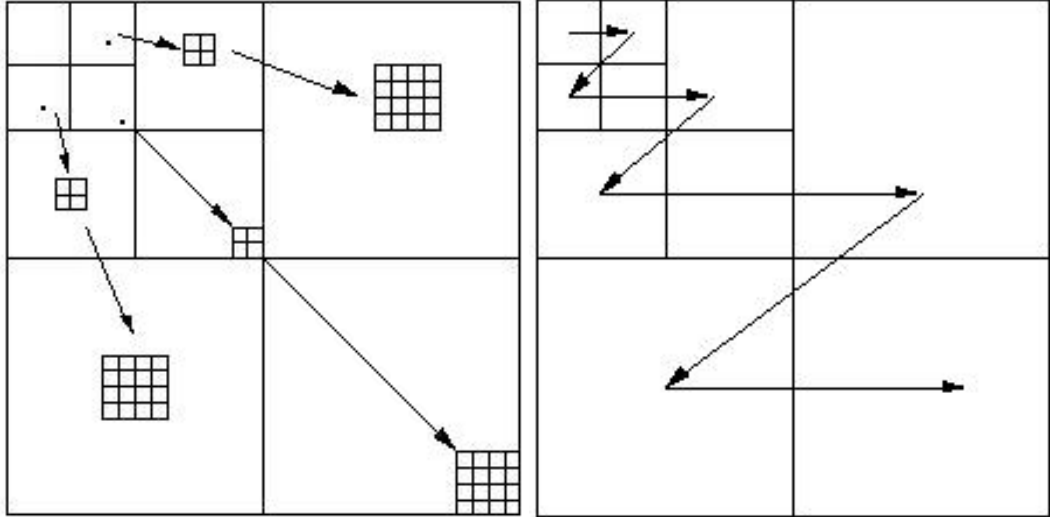
Şekil 3.6 JPEG 2000 kodlayıcı blok yapısı

ADD boyutunda pek çok damgalama yönteminde yüksek çözünürlüklü $Y2$, $D2$, $K2$ bantları kullanılmıştır. ADD’de T : temel düşük frekans bileşenini, Y : yatay orta frekans bileşenini, D : dikey orta frekans bileşenini ve K : köşegensel yüksek frekans bileşenini gösterir. ADD’nin karakteristik özelliklerini de aşağıdaki gibi verebiliriz.

- ADD görüntüyü yatay, dikey ve köşegensel olmak üzere üç doğrultuda ayrıştırmaktadır. Bu yüzden dalgacık dönüşümü insan görüş sisteminin yön bağımlı özelliklerini tam olarak yansıtmaktadır (Voloshynovskiy, Deguillaume ve Pun, 2000).



Şekil 3.7 JPEG 2000 kod çözümü blok yapısı



Şekil 3.8 "Embedded Zero-Tree Wavelet kodlama yapısı, alt band ayrışımı için tarama sırası

- ADD, çok çözünürlüklü doğasından dolayı ölçeklendirme ve kabul edilebilir bozulmaya ihtiyaç gösteren uygulamalar için uygundur.
- Büyük genlikli ADD katsayıları damga gömmek için uygundur.
- Düşük çözünürlükte damga algılama hesapsal olarak etkilidir. Çünkü her ardışık çözünürlük seviyesinde sadece bir kaç frekans bandı ile ilgilenilmektedir.
- Çok çözünürlüklü damgalama zaman veya frekans boyutunda iki veya ikinin katları şeklinde yapılan aşağı örneklemeye karşı dayanıklıdır (Zhu, Xiong ve Zhang, 1999).
- İnsan görüş sistemi görüntüde köşeler ve dokulu alanlardaki bozulmalara yumuşak

alanlardaki bozulmalardan daha duyarsızdır. Yüksek çözünürlüklü alt bantlarda asıl görüntüye ait köşe ve doku desenlerini kolaylıkla ortaya çıkardığından daha görülemez damgalama elde edilir.

- Dalgacık dönüşümü hesapsal olarak etkilidir, basit süzgeç evrişimleri kullanılarak uyarlanabilir.
- İletim ve kod çözme hatalarına karşı daha dayanıklıdır.
- ADD katsayılarının genliği her seviyede temel bileşende daha büyüktür. Diğer yatay, düşey ve köşegensel bileşenlerde temel bileşene göre daha küçüktür (Tao ve Eskicioğlu, 2004).

Cox vd. (1997) ve Huang vd. (2000)'ne göre damga AKD boyutunda, büyük algılama kapasitelerinden dolayı DC katsayıya ve orta frekansa karşı düşen AC katsayılara gömülmelidir. Benzer yaklaşımı ADD boyutunda uygulandığında damgalama herhangi bir seviyede temel düşük frekans bileşeninde olmalıdır. Damganın yüksek seviyeli alt bantlara gömülmesi dayanıklılığı artırır fakat tepeden tepeye işaret gürültü oranı ile ölçülebilen görüntünün görsel aslına benzerliği azalır. Bu durumun tam tersi olarak damga düşük seviyeli alt bantlara yerleştirildiğinde görüntünün görsel aslına benzerliği artar ya da algısal olarak görünmez olur fakat dayanıklılığı azalır. ADD'de köşeler ve dokular yatay ve düşey orta frekans bileşenlerinde ya da köşegensel yüksek frekans bileşeninde kolaylıkla ayırt edilebilir (Xia, Boncelet ve Arce, 1997). Çizelge 3.8'de ADD tabanlı sayısal damgalama yöntemlerinin özeti sunulmuştur.

Düşük frekans bileşenleri orta ve yüksek frekans bileşenleri ile karşılaştırıldığında daha büyük algısal kapasiteye sahiptir. Dolayısıyla herhangi bir görsel bozulmaya neden olmadan daha güçlü damgalamada düşük frekans bileşenleri kullanılabilir. Zayıf ve güçlü iki işaretin birbiriyle ilişkisini tanımlayan Weber yasasına göre “contrast” oran eşiği, güçlü işaretin genliği ile orantılıdır. Bu yaklaşım çerçevesinde damga, güçlü işaret olan görüntüye gömülen zayıf işaret olarak düşünülür. Eğer gömülen işaretin “contrast” oranı, belirlenen eşik değerinden küçükse, güçlü işarete hiç bir algısal bozulma oluşmaz (Kang vd., 2003). Ayrıca düşük seviyeli bantlar büyük genlikli katsayılara sahiptir dolayısıyla damgayı gömmek için daha büyük ölçekleme katsayıları kullanarak daha dayanıklı damgalama yapılır. Diğer üç banttaki katsayılar göreceli olarak daha küçük genliklidir. Bu yüzden damgalamada daha küçük ölçekleme katsayıları kullanarak daha zayıf damgalama yapılır (Tao ve Eskicioğlu, 2004).

Çizelge 3.8 ADD tabanlı sayısal damgalama yöntemleri

YAZAR	ÖZELLİKLER
Xia vd. (1997)	- damganın, temel düşük frekans bileşeni dışındaki bütün frekans bileşenlerine yerleştirilmesi - algılama aşamasında yine ilişki tabanlı damga algılayıcılar kullanılarak damganın algılanması
Onishi ve Matsui (1997)	- damga bütün frekans bantlarına gömülerek daha dayanıklı bir damgalamanın elde edilmesi
Kundur ve Hatzinakos (1997)	- damga temel frekans bandı dışındaki bantlara yerleştirilerek görünmezliğin artırılması
Barni vd. (1999)	- damganın sadece dördüncü seviyeden temel frekans bileşenine yerleştirilmesi

ADD boyutunda yapılan öncül damgalama çalışmalarından biri Xia vd. (1997) tarafından yapılan çalışmadır. Bu çalışmada damga, temel düşük frekans bileşeni dışındaki bütün frekans bileşenlerine yerleştirilir. Algılama aşamasında yine ilişki tabanlı damga algılayıcılar kullanılarak damga algılanır. Onishi ve Matsui (1997) tarafından ortaya konan bir diğer yaklaşımda damga bütün frekans bantlarına gömülerek daha dayanıklı bir damgalama yöntemi elde edilmiştir. Ruanaidh, Dowling ve Boland (1996), Kundur ve Hatzinakos (1997), Barni vd. (1999) tarafından yapılan çalışmalarda farklı ADD bantları seçilerek farklı damgalama yöntemleri önerilmiştir. Tao ve Eskicioğlu (2004) tarafından yapılan bir diğer çalışmada ise damgalama için sadece temel düşük frekans bileşeni kullanılmıştır.

3.4.4 ADD Dönüşümüne Kaskad Frekans Dönüşümü Uygulayarak Görüntü Damgalama

Daha önce açıkladığımız ADD tabanlı damgalama yöntemlerinin getirilerini artırmak ve götürülerini azaltmak üzere ADD işleminin ardından ikinci bir dönüşüm yöntemi uygulanarak çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Çizelge 3.9’da ADD dönüşümüne kaskad frekans dönüşümü uygulamaya dayalı sayısal damgalama yöntemlerinin özeti sunulmuştur.

Fotopulos ve Skodras (2000) tarafından ortaya konan yöntemde; asıl görüntünün birinci seviyeden ADD dönüşümü alınarak elde edilen dört temel bandın AKD dönüşümleri alınmıştır. Damga AKD katsayılarının orta frekans bileşenlerine eklenmiştir. Algılama işleminde her dört bandın algılanması ayrı ayrı yapıldıktan sonra ortalama alınarak yapılmıştır.

Kang vd. (2003) tarafından ortaya konulan yöntemde; damga ADD boyutunda temel düşük frekans bileşeninin katsayılarına eklenmektedir. Affin dönüşümü gibi geometrik saldırılara ve JPEG sıkıştırmaya karşı dayanıklılığı artırmak üzere AFD boyutunda orta frekans değerlerine bir şablon daha sonra gömülmektedir. Algılama işlemi, AFD boyutunda şablondan elde edilen gömme parametreleri yardımıyla ADD boyutunda gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemin diğer yöntemlere göre getirisi Affin dönüşümü ve JPEG sıkıştırma karşısındaki performansının diğer ADD tabanlı yöntemlere göre daha iyi olmasıdır.

Çizelge 3.9 ADD'ye kaskad frekans dönüşümü tabanlı sayısal damgalama yöntemleri

YAZAR	ÖZELLİKLER
Fotopulos ve Skodras (2000)	- asıl görüntünün birinci seviyeden ADD dönüşümü alınması - elde edilen dört temel bandın AKD dönüşümleri alınması - damga AKD katsayılarının orta frekans bileşenlerine eklenmesi - algılama; her dört bandın algılaması ayrı ayrı yapıldıktan sonra ortalama alınarak yapılması
Kang vd. (2003)	- damga, ADD boyutunda temel düşük frekans bileşeninin katsayılarına eklenmesi - dayanıklılığı artırmak üzere AFD boyutunda orta frekans değerlerine bir şablon eklenmesi
Ganic ve Eskicioglu (2004)	- görüntü ve damga işaretlerinin ADD boyutunda ayrı ayrı alt bant ayrışımı yapıldıktan sonra her bir alt bandın öz-değer öz-vektör ayrışımının yapılması - damganın öz değer öz vektörleri kullanılarak görüntünün istenilen seviyedeki öz değer öz vektörlerinin damgalanması

Ganic ve Eskicioglu (2004) tarafından ortaya konulan yöntemde damga olarak bir görüntü seçilmiştir. Görüntü ve damga işaretlerinin ADD boyutunda ayrı ayrı alt bant ayrışımı yapıldıktan sonra her bir alt bandın Öz Değer Öz Vektör Ayrışımı (DVA) (Singular Value Decomposition, SVD) elde edilir. Damga işaretinin öz değer ve öz vektörleriyle görüntünün öz vektör ve öz değerleri değiştirilerek damgalama gerçekleştirilir. Algılama işlemindeyse damgalamada yapılan işlemlerin tersi uygulanarak öz değer öz vektör ayrışımı boyutunda algılama işlemi gerçekleştirilir. Bu yöntemin getirisi ise dayanıklılık ve fark edilmezliği artırmasıdır.

3.4.5 ADD-AKD Tabanlı Görüntü Damgalama

Bu çalışmada asıl görüntü ADD boyutunda dördüncü seviyeye kadar alt bantlarına ayrılır. Herhangi bir seviyede elde edilen yatay ve düşey alt bantların blok bazlı AKD dönüşümü alınır. Bu bileşenlerin AKD boyutunda orta frekans bileşenlerine karşı düşen katsayıları iki boyutlu maske yardımıyla seçilir. Seçilen bu katsayılara damga eklenir. Temel frekans bileşenine damga eklendiğinde fark edilmezlik artar. Köşegensel bileşen görüntüye ilişkin çok fazla bilgi içermediğinden, köşegensel bileşen kullanılmadan görüntü yeniden elde edilir. Damganın kolayca görüntüden çıkarılmasını engellemek yani dayanıklılığı artırmak için köşegensel bileşene damga eklenmez. Yine ADD-AKD boyutunda düşey ve yatay bileşenlerde yapılan benzerlik ölçümü işlemleriyle algılama işlemi gerçekleştirilir.

ADD boyutunda görüntüler farklı seviyede farklı alt bantlar yardımıyla düşük frekanstan yüksek frekansa kadar çok çözünürlüklü olarak ifade edilir. Bu özellik kullanılarak ADD boyutunda insan görüş sisteminin hangi çözünürlükte hangi frekanstan ne kadar etkilendiği daha iyi tanımlanır. Bu sebeple ADD tabanlı dönüşüm yöntemleri insan görüş sistemini diğer yöntemlere göre daha iyi değerlendirir. Bizim yöntemimizde de damga etkisi bu şekilde ADD dönüşümünün özellikleri kullanılarak azaltılmıştır. Özellikle yatay ve düşey orta frekans bileşenlerine damga eklenmesi histogram dengeleme ve gamma düzeltme türünden saldırılara karşı dayanıklıdır (Ganic ve Eskicioglu, 2004). Blok bazlı işlemlerden dolayı ortaya çıkan bozulmaları ortadan kaldırmak için AKD katsayıları farklı bir maske yardımıyla seçilir.

ADD işleminde alt bant ayrışımı için kullanılan süzgecin katsayılarına bağlı olarak işlem sayısı değişir. Her katsayıya karşı bir çarpma işlemi sonunda alt bantlar hesaplanır. 8x8 blok için AKD işlemi 54 çarpma gerektirir. ADD-AKD tabanlı sayısal damgalama yöntemi, sadece AKD boyutunda damga ekleme yöntemleriyle karşılaştırıldığında; damgayı yerleştirmek için bütün görüntüyü taramak yerine 512x512 boyutlu bir görüntüde birinci seviyede 4, ikinci seviyede 16, üçüncü seviyede 64, dördüncü seviyede 128 kez daha az işlem gerçekleşir. Benzer şekilde ADD-AKD tabanlı sayısal damgalama yöntemi, sadece ADD boyutunda damga ekleme yöntemleriyle karşılaştırıldığında; ADD'ye ardışıl AKD uygulanmasından dolayı işlem yükünü artırması olarak görünen götürü, saldırılara karşı dayanıklılığının artırmasıyla sağlanan getiriyle dengelenmektedir. Fotopulos ve Skodras (2000) tarafından önerilen yöntemden farklı olarak ADD-AKD tabanlı sayısal damgalama yönteminde damga dört seviyeden herhangi birinde sadece düşey ve yatay bileşenler eklenmektedir. Temel frekans bileşenine damga eklenmediğinden fark edilmezlik, köşegensel bileşene damga eklenmediğinden dayanıklılık artırılmaktadır. Dört farklı seviyeden hangisine damga

eklendiği bilinmediğinden damganın yerinin tespit edilmesi zordur. Ayrıca bu durumda damga dayanıklılığının artırılmasına katkıda bulunmaktadır.

3.5 Sonuç

ADD-AKD tabanlı sayısal damgalama yöntemi literatürde varolan sadece AKD, sadece ADD veya ADD'ye kaskad frekans dönüşümü kullanan yöntemlere göre fark edilmezliği ve dayanıklılığı artırmaktadır. Ayrıca ADD'ye dayalı yapılarından dolayı JPEG2000 formatında sıkıştırılacak sabit görüntüler ve MPEG-4 veya Dirac türünden kodlanacak video işaretleri için oldukça uygundur. Çünkü bu tür ADD'ya dayalı formatlarda damga ekleme işlemi sırasında yeniden ADD'ye gerek kalmadan sadece AKD alınarak damga eklenebilir. Yöntemin benzetim ve sonuçları sonraki bölümlerde detaylı olarak açıklanacaktır.

4. AYRIK DALGACIK DÖNÜŞÜMÜ – AYRIK KOSİNÜS DÖNÜŞÜMÜ TABANLI SAYISAL DAMGALAMA YÖNTEMİ

Bu tez çalışmasında kullanılan Ayrik Dalgacık Dönüşümü – Ayrik Kosinüs Dönüşümü tabanlı sayısal damgalama yöntemi anlatılacaktır. Çalışmanın başlangıç noktasından sonuna kadar yaşanan süreçler ele alınıp yapılan gerçeklemeler ve elde edilen sonuçlar verilecektir. Sonuçta yöntemin en başarılı hali anlatılacaktır.

4.1 Ayrik Dalgacık Dönüşümü Tabanlı Damgalama

ADD boyutunda görüntüler farklı seviyede farklı alt bantlar yardımıyla düşük frekanstan yüksek frekansa kadar çok çözünürlüklü olarak ifade edilir. Bu özellikler kullanılarak ADD boyutunda insan görüş sisteminin hangi çözünürlükte hangi frekansta ne kadar etkilendiği daha iyi ortaya konulur. Sonuçta ADD tabanlı dönüşüm yöntemleri insan görüş sistemini diğer yöntemlere göre daha iyi değerlendirir. ADD dönüşümü hem uzamsal hem de frekans boyutunda görüntünün tanımlanmasını sağlar. Ayrıca AKD dönüşümü frekans boyutundaki dayanıklılığı artırır. Özellikle yatay ve düşey orta frekans bileşenlerine damga ekleme, histogram dengeleme ve gamma düzeltme türünden saldırılara karşı dayanıklıdır.

Daha öncede belirttiğimiz bir çok getirisinden dolayı tez çalışmasının konusu ADD-AKD tabanlı frekans boyutunda görüntü damgalama olarak belirlenmiştir. Lee ve Jung (2001) tarafından belirlenen sınıflandırma kriterlerine göre çalışmanın temelini oluşturan damgalama yöntemi; resim damgalama, görünmez damgalama, dayanıklı damgalama, görüntü ekleme tabanlı damgalama, frekans boyutunda damgalama, gizli/yarı gizli damgalama özelliklerini taşıyacaktır.

4.1.1 Ayrik Dalgacık Dönüşümü

İki boyutlu ayrılabilir Ayrik Dalgacık Dönüşümü kullanılarak I imgesinin tek adımlı alt bant ayrışımından hem yatay hem de düşey örneklemeyle her seviyede temel görüntü I_T ve üç detay görüntü; yatay alt görüntü I_Y , düşey alt görüntü I_D ve köşegensel alt görüntü I_K hesaplanır. h_0 , h_1 , g_0 ve g_1 süzgeçleri alt bant ayrışımında kullanılan L uzunluklu mükemmel yeniden elde etmeli dik ayna süzgeçlerdir. Bu süzgeçler

$$g_0(n) = (-1)^n h_0(N - n) \quad g_1(n) = (-1)^n h_0(n) \quad h_1(n) = h_0(N - n) \quad (4.1)$$

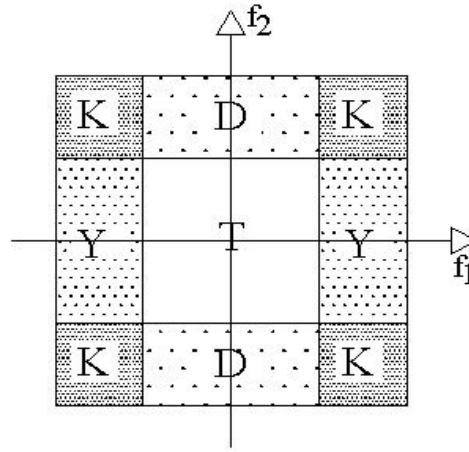
özelliklerini sağlamalıdır.

Ayrıca frekans boyutunda

$$G_0(z) = -H_1(z) \quad G_1(z) = H_0(-z) \quad H_1(z) = z^{1-L} H_0(-z^{-1}) \quad (4.2)$$

olmalıdır.

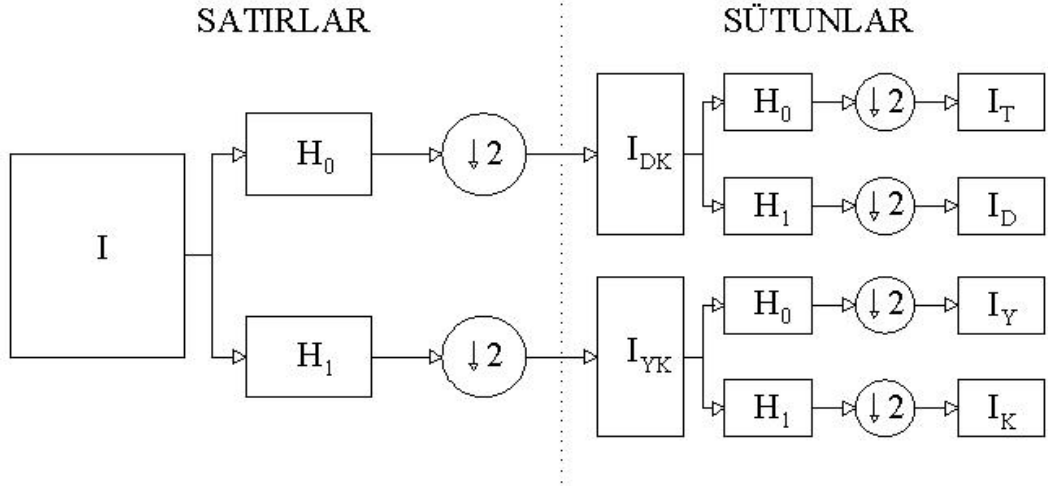
Ayrıştırma işleminde; I giriş görüntüsünün ilk adım I_{DK} düşük frekans bileşenini elde edilmek için H_0 ile, I_{YK} yüksek frekans bileşenini elde etmek için H_1 ile satır satır süzgeçlenir. İkinci adımda süzgeçlenmiş görüntü bileşenlerinin kendi Nyquist hızlarında yeniden örneklenebilmesi için süzgeçlenmiş çıkışlar ikiyle aşağı örneklenir. Şekil 4.1'de ADD işleminde frekans bölgelerinin dağılımı gösterilmektedir.



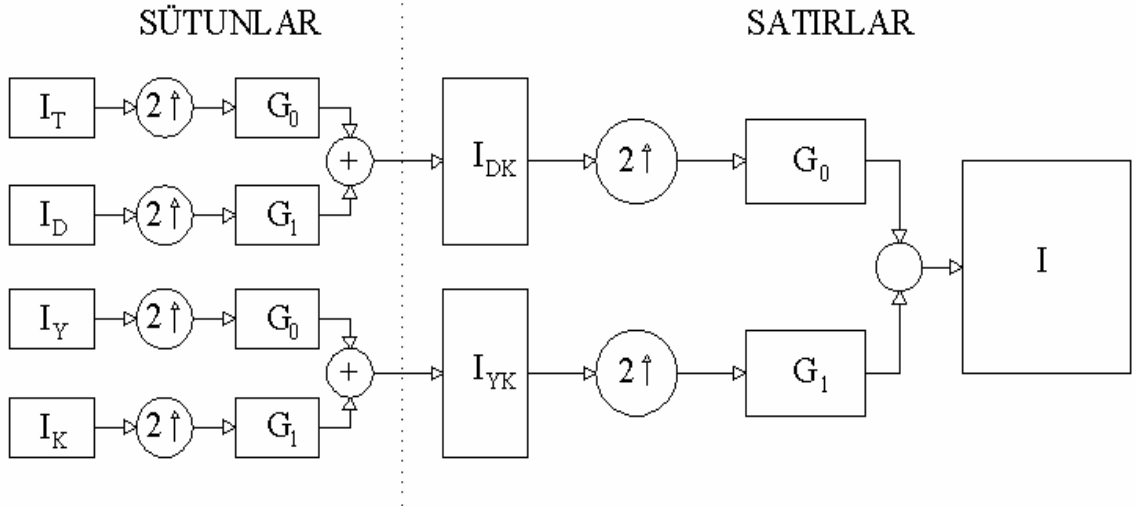
Şekil 4.1 ADD bileşenlerinin frekans bölgeleri

Süzgeçlenmiş imgeler asıl imgenin yarısı kadar bant genişliğine sahip olduğundan aşağı örnekleme işlemi hiç bir bilgi kaybına neden olmaz. İki alt bant bileşeninin örtüşen kısımları süzgeç bankasının mükemmel yeniden elde etme özelliğinden dolayı yok olurlar. Son aşamada iki alt bant bileşenden dört alt imge elde etmek için H_0 ve H_1 ile sütun sütun süzgeçlenir ve ikiyle aşağı örneklenir. Şekil 4.2'de ADD kullanılarak tek seviyeli ayrıştırma işlemi görülmektedir.

Birleştirme işleminde; ayrıştırma işleminde yapılan işlemlerin simetriği yapılır. Ayrıştırma sonucunda elde edilen alt görüntüler ikiyle yukarı örneklenir sonra G_0 ve G_1 süzgeçleri kullanılarak sütun sütun süzgeçlenir. Bu işlem sonunda elde edilen düşük I_{DK} ve yüksek I_{YK} frekans bileşenleri tekrar iki ile yukarı örneklenir, G_0 ve G_1 süzgeçleri ile satır satır süzgeçlenerek yeniden oluşturulan görüntü mükemmel olarak elde edilir. Şekil 4.3'de ADD kullanılarak tek seviyeli birleştirme işlemi görülmektedir (Akansu ve Haddad, 1992).



Şekil 4.2 ADD kullanılarak tek seviyeli görüntü ayrıştırma işlemi



Şekil 4.3 ADD kullanılarak tek seviyeli görüntü birleştirme işlemi

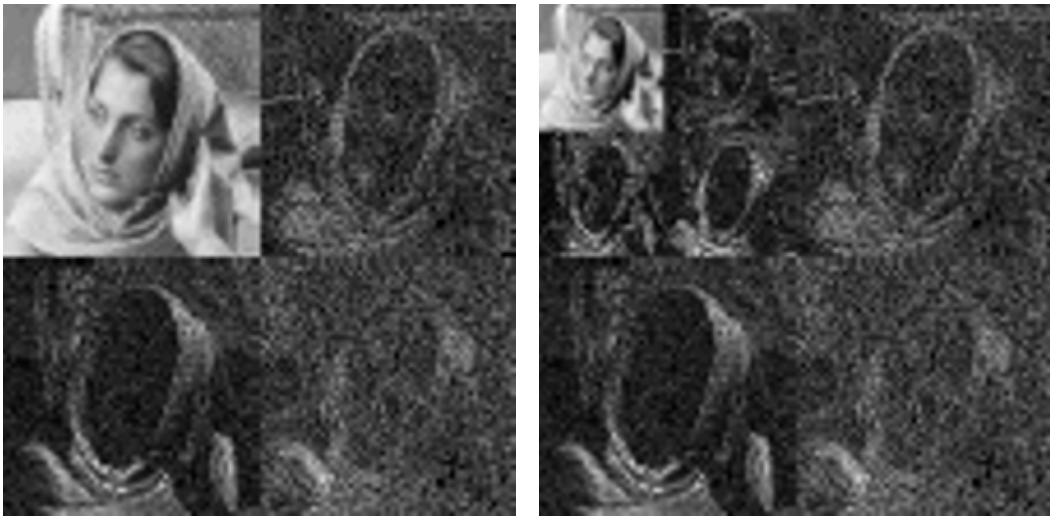
Görüntü işaretleri için ADD kullanılarak dördüncü seviyeye kadar alt bant ayrışımından elde edilen görüntüler için damgalama anlamlı olmaktadır. ADD kullanılarak dördüncü seviyeye kadar alt bant ayrışımının matematiksel ifadesi 4.3'dedir.

$$I_{Bl}(u, v) = ADD\{I(x, y), \quad B \in \{T, D, Y, K\}, \quad 1 < l < 4\} \quad (4.3)$$

Şekil 4.4'de dört seviyeli Ayrık Dalgacık Dönüşümü alt bantları görülmektedir. T : temel düşük frekans bileşenini, Y : yatay orta frekans bileşenini, D : dikey orta frekans bileşenini ve K : köşegensel yüksek frekans bileşenini gösterir. Şekil 4.5'te ADD kullanılarak birinci ve ikinci seviyede alt bantlarına ayrılmış görüntü ve alt bantları yer almaktadır.

T4	Y4	Y3	Y2	Y1	
D4	K4				
D3	K3	K2	K1		
D2	K2				
D1			K1		

Şekil 4.4 Dört seviyeli Ayırık Dalgacık Dönüşümü alt bantları



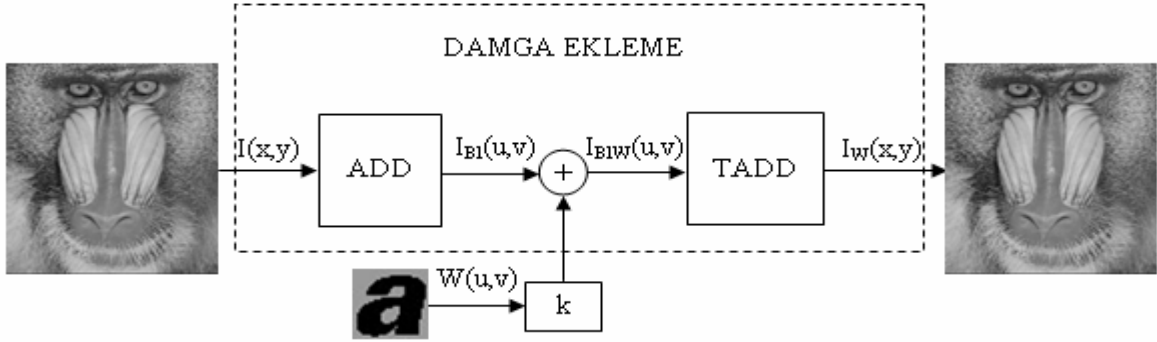
Şekil 4.5 Bir görüntünün aslı, birinci ve ikinci seviyeden ADD alt bant görüntüleri

4.1.2 ADD Tabanlı Damgalamada Damga Olarak Logo Görüntü Kullanılması

İlk yapılan çalışmada; siyah beyaz görüntü birinci seviyeden Daubechies (Daubechies, 1990) süzgeç katsayıları kullanılarak ADD yardımıyla dördüncü seviyeye kadar alt bantlara ayrılır. Görüntünün herhangi bir seviyesindeki herhangi bir alt bandına damga olarak seçilen logo görüntüsü eklenerek damgalama işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlemin matematiksel ifadesi 4.4’de görülmektedir.

$$I_{BIW}(u,v) = I_{BI}(u,v) + k.W(u,v), \quad B \in \{T, D, Y, K\}, \quad 1 < l < 4 \quad (4.4)$$

Gömülen damga; damgalanmış görüntüden ağırlıklandırma katsayısının bilinmesi koşuluyla damga çıkarılmış ve asıl görüntü elde edilmiştir. Şekil 4.6’da ADD tabanlı damgalama işleminin blok yapısı görülmektedir.

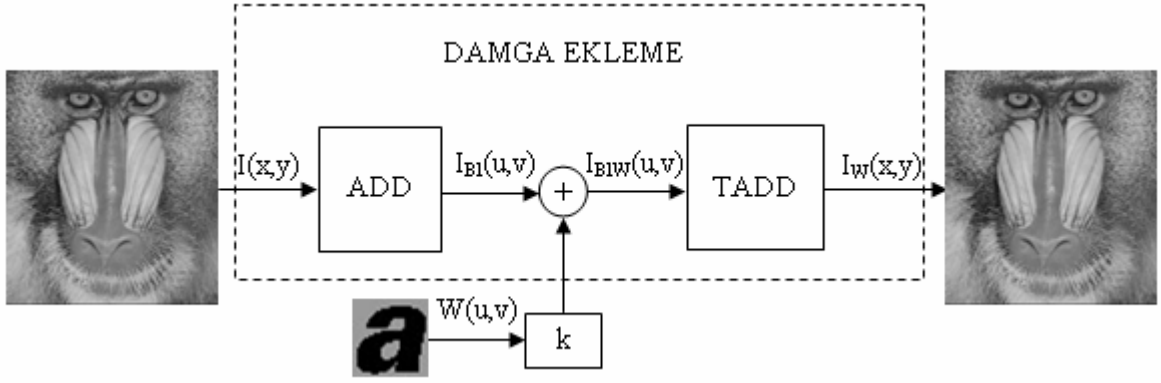


Şekil 4.6 ADD tabanlı damgalama işlemi

Algılama işlemi; damgalanması muhtemel görüntü ile damga işareti arasındaki benzerlik ölçümü hesaplanarak yapılır. Algılama işleminin matematiksel ifadesi 4.5’de verilmiştir. Şekil 4.7’de ise algılama işleminin blok yapısı görülmektedir.

$$R_{I_{BIW}(u,v)*W(u,v)} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N I_{BIW,i}^*(u,v) W_i(u,v), \quad B \in \{T, D, Y, K\}, \quad 1 < l < 4 \quad (4.5)$$

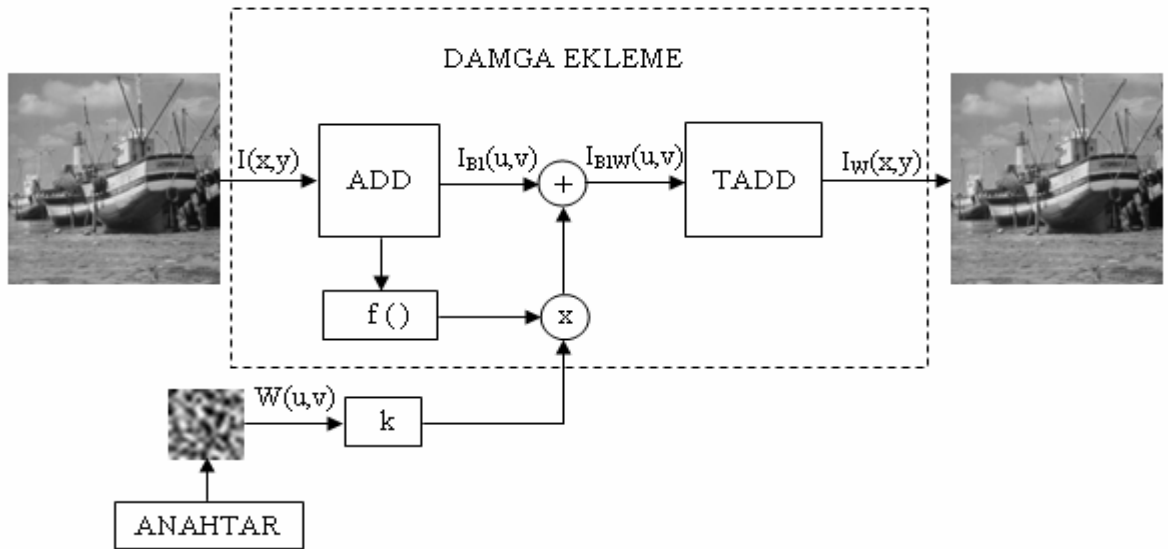
Görüntü değiştirilip, logo görüntüsü sabit tutularak damgalama işlemi farklı görüntüler üzerinde denenmiştir. Bu yöntem sonucunda ilk iki seviyede eklenen damga işaretinin algılaması kolay olmaktadır. Üçüncü seviyede eklenen damga işaretini algılamak için ilk iki seviyeye göre nispeten daha büyük ağırlıklandırma katsayısı kullanmak gerekmektedir. Dördüncü seviyede yapılan ekleme işlemini algılamak oldukça güçtür. Dördüncü seviyede, temel bileşenin katsayı değerleri oldukça büyüdüğünden, algılama işleminde kullanılan ilişki operatörü damgayı hatalı olarak sürekli bileşende algılamaktadır.



Şekil 4.7 ADD tabanlı damga algılama işlemi

4.1.3 ADD Tabanlı Damgalamada Damga Olarak Rastlantısal İşaret Kullanılması

Daha önceki çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre desen tanıma yöntemleri kullanılarak damga olarak yerleştirilen logo görüntüsü asıl görüntüden algılanabilmektedir. Hem böyle bir soruna meydan vermemek hem de ilk yapılan çalışmada ortaya çıkan hataları düzeltmek için ikinci yapılan çalışmada damga olarak bir çekirdek değerinden üretilen $[-0.5, 0.5]$ aralığında düzgün değişen sözde rastlantısal işaret kullanılmıştır. Ayrıca ADD kullanarak görüntü ayrıştırma işlemi üç seviyeli olarak gerçekleştirilmiştir.

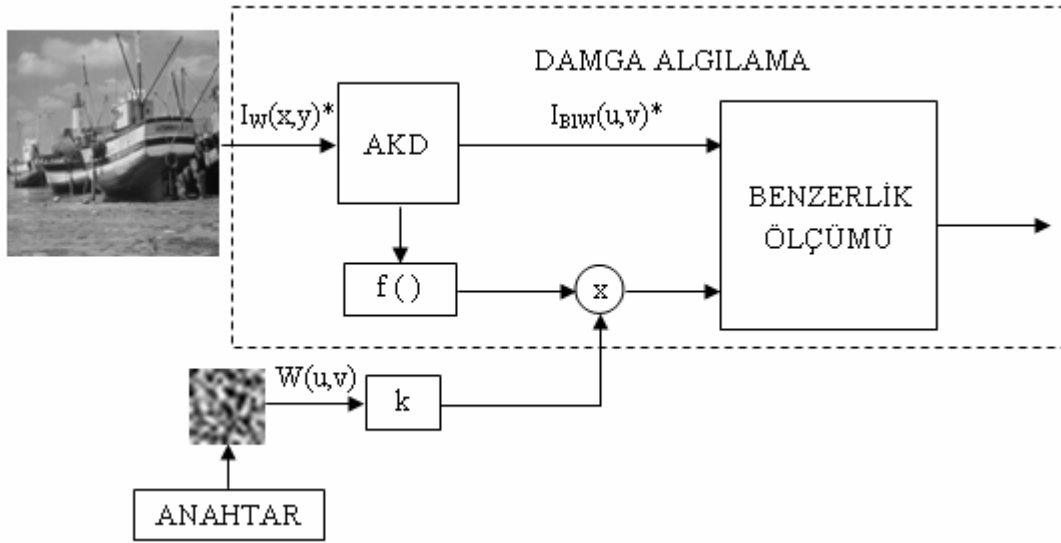


Şekil 4.8 Sözde rastlantısal damga kullanan ADD tabanlı damgalama işlemi

Damgalama işleminde; rastlantısal işaret, üç farklı seviyede alt bantlarına ayrılan asıl görüntünün rasgele seçilen bir alt bandına doğrudan eklenerek damgalama işlemi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca damga olarak seçilen rastlantısal işaretin tek seviyeli dalgacık dönüşümü alınarak görüntünün alt bandına eklenmesiyle oluşacak farkta incelenmiştir.

Eklenen damga işaretinin değerlerini asıl görüntünün değerleriyle ölçeklendirmek için farklı matematiksel fonksiyonlar denenmiştir. Damganın ekleneceği alt bandın değışintisi, en küçük, ortalama veya en büyük değerlerinden biri, ağırlıklandırma katsayısı ile birlikte damga işaretini ölçeklendirmede kullanılmıştır. Bu işlemin matematiksel ifadesi 4.6'da görölmektedir. Şekil 4.8 ve şekil 4.9'da sırasıyla sözde rastlantısal damga işareti kullanan ADD tabanlı damgalama ve damga algılama işlemlerinin blok yapısı yer almaktadır.

$$I_{BIW}(u,v) = I_{BI}(u,v) + k.f(I_{BI}(u,v))W(u,v) \quad B \in \{D,Y,K\}, \quad 1 < l < 3 \quad (4.6)$$



Şekil 4.9 Sözde rastlantısal damga kullanan ADD tabanlı damga algılama işlemi

$$R_{I_{BIW}(u,v)W(u,v)} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N I_{BIW,i}^*(u,v)W_i(u,v), \quad B \in \{T,D,Y,K\}, \quad 1 < l < 3 \quad (4.7)$$

Damga algılama işlemi; asıl görüntüye ihtiyaç duyulmadan, damgalanmış görüntü, ağırlıklandırma katsayısı ve damgayı oluşturmada kullanılan çekirdek değeri kullanılarak benzerlik ölçüm yöntemleriyle gerçekleştirilmiştir. Algılama işlemi; damgalanması muhtemel görüntü ile damga işareti arasındaki benzerlik ölçümü hesaplanarak yapılır. Benzerlik ölçümü görüntüye yerleştirilmiş N adet damga işareti için yapılmaktadır. Algılama işleminin matematiksel ifadesi 4.7'de verilmiştir.

Damga olarak rastlantısal işaret kullanan ADD tabanlı damgalama yöntemi çeşitli temel görüntüler üzerinde denenmiştir. Bu denemelerde; ölçeklendirme işleminde Y , D ve K alt bantları için o bandın en büyük değeri, T alt bandı için o bandın en küçük değeri kullanılarak başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Algılama işlemi her seviyede ağırlıklandırma katsayısı değeri

göreceli olarak azaltılarak yapılmaktadır. Katsayı değeri olarak [0.01, 0.1] aralığındaki değerler kullanılmıştır. JPEG sıkıştırma işleminden sonra damganın algılanması zorlaşmaktadır. Genelde bu yöntem rastlantısal işaretin tek seviyeli dalgacık dönüşümü alınarak yapılan damga ekleme yöntemine göre daha başarılıdır.

4.2 Ayırık Dalgacık Dönüşümü – Ayırık Kosinüs Dönüşümü Tabanlı Damgalama

ADD görüntüyü yatay, düşey ve köşegensel olmak üzere üç doğrultuda ayırmaktadır. Bu yüzden dalgacık dönüşümü insan görüş sisteminin yön bağımlı özelliklerini tam olarak yansıtmaktadır. ADD, çok çözünürlüklü doğasından dolayı ölçeklendirme ve kabul edilebilir bozulmaya ihtiyaç gösteren uygulamalar için uygundur. Ayrıca büyük genlikli ADD katsayıları damga gömmek için uygundur. İletim ve kod çözme hatalarına karşı daha dayanıklıdır. Daha önce açıkladığımız ADD tabanlı damgalama yöntemlerinin getirilerini artırmak ve götürülerini azaltmak üzere ADD işleminin ardından AKD dönüşüm yöntemi uygulanmıştır. Ayrıca ADD damgalama yönteminin sıkıştırma, döndürme, ölçeklendirme ve dönüşüm işlemlerine karşı dayanıklılığını artırmaktadır.

4.2.1 Ayırık Kosinüs Dönüşümü

Tipik bir kodlayıcıda blok bazlı Ayırık Kosinüs Dönüşümü kullanılır. 8x8 boyutundaki görüntü parçası bire bir dönüşüm kullanılarak frekans boyutuna taşınır. Bu dönüşüm sonucunda toplam enerjinin büyük bir bölümü az miktarda dönüşüm katsayısında toplanır. Dönüşüm katsayıları genelde sıkıştırma veya daha özel olarak damgalama ve farklı bir çok amaçla saklanır, kuvantalanır ve kodlanır. Basitlik ve hesaplama karmaşıklığını azaltmak için ayrılabilir dönüşümler kullanılır.

İki boyutlu AKD'nin taban vektörleri aşağıdaki gibi verilir.

$$c(k, l) = \alpha(k) \cos \frac{\pi(2l+1)k}{2N} \quad \begin{matrix} 0 \leq k \leq N-1 \\ 0 \leq l \leq N-1 \end{matrix} \quad (4.8)$$

$$\alpha(0) = \sqrt{\frac{1}{N}}, \quad \alpha(k) = \sqrt{\frac{2}{N}} \quad 1 \leq k \leq N-1 \quad (4.9)$$

Burada $\alpha(0)$ ve $\alpha(k)$ 4.9'daki gibi hesaplanır.

İki boyutlu AKD çifti, $\mathbf{C} = \{c(k, l)\}$ olmak üzere reel değerli görüntü matrisi için 4.10'nun çözümünden

$$\mathbf{V} = \mathbf{CUC}^T \quad \text{ve} \quad \mathbf{U} = \mathbf{C}^T \mathbf{VC} \quad (4.10)$$

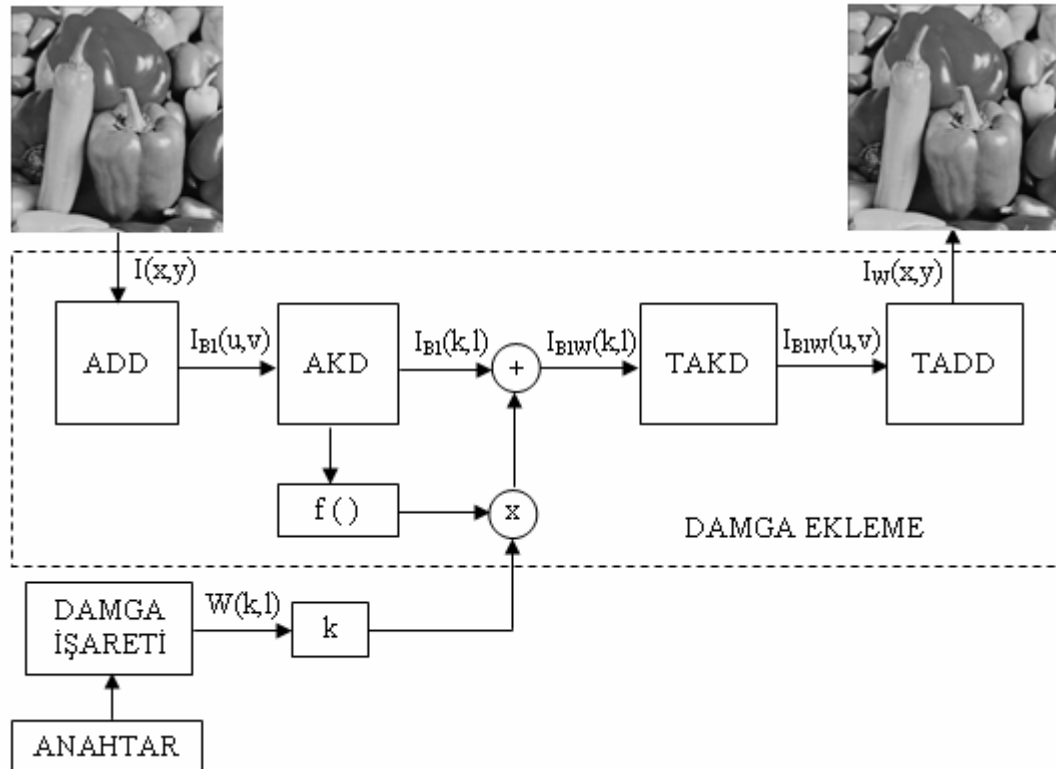
elde edilir (Jain 1989).

ADD kullanılarak dördüncü seviyeye kadar alt bant ayrışımından elde edilen alt bantların $\mathbf{C}$ matrisi yardımıyla AKD dönüşümlerinin matematiksel gösterimi 4.11'dedir.

$$I_{Bl}(k,l) = AKD\{I_{Bl}(u,v), \quad B \in \{T,D,Y,K\}, \quad 1 < l < 4\} \quad (4.11)$$

4.2.2 Toplamsal Damgalama: Damga İşaretinin ADD-AKD Katsayılarına Eklenmesi

Daha önce yapılan gerçeklemlere paralel olarak siyah beyaz görüntü birinci seviyeden Daubechies (Daubechies, 1990) süzgeç katsayıları kullanılarak ADD yardımıyla dördüncü seviyeye kadar alt bantlara ayrılır. Damga işareti herhangi bir seviyedeki yatay veya düşey orta frekans bileşenlerinden birine eklenmiştir. Temel düşük frekans bileşenine fark edilmezliği artırmak yani görünmezliği sağlamak, köşegensel yüksek frekans bileşenine ise damganın kolayca bozulmasını önlemek için damga işareti eklenmesinden vazgeçilmiştir.



Şekil 4.10 ADD-AKD tabanlı toplamsal damgalama işlemi

Damga işaretini temel görüntüden çıkarmak için temel görüntüye çeşitli işaret işleme yöntemleri kullanılarak saldırıda bulunulur. Ya da iletim aşamasında işareti sıkıştırmak ve

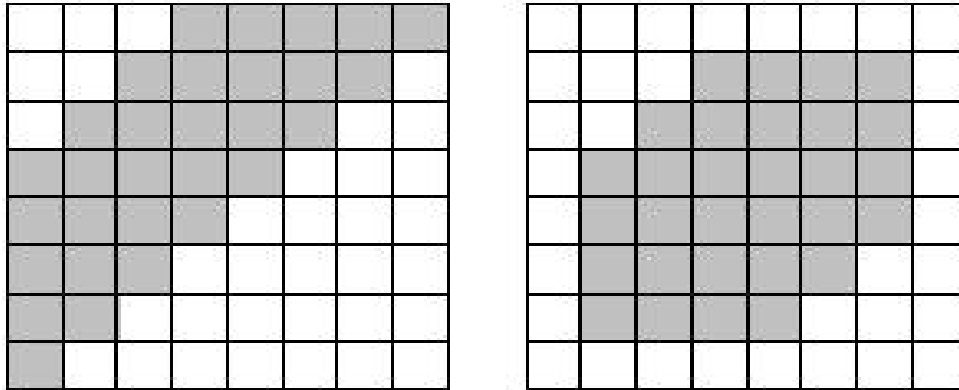
işaret seviyesini artırmak için çeşitli işaret işleme yöntemleri uygulanır. Bu türden bilinçli yada bilinçsiz olarak; sıkıştırma, döndürme, ölçeklendirme ve dönüşüm gibi işaret işlemlerine karşı damga işaretinin dayanıklılığını artırmak için ADD'den hemen sonra AKD uygulanmıştır. Şekil 4.10'da ADD-AKD tabanlı toplamsal damgalama işleminin blok yapısı yer almaktadır.

Damga işareti, seçilen bileşenin AKD katsayılarının yine orta frekans değerlerine karşı düşen katsayılarına eklenir. Etkinliğini artırmak için AKD işlemi seçilen ADD bileşenine 8x8 boyutunda bloklar halinde uygulanır. Damga işareti $[-0.5, 0.5]$ aralığında düzgün değişen sıfır ortalamalı bir rastlantısal işaret seçilir. Bu rastlantısal işaret tek bir çekirdek sayıdan rastlantısal fonksiyon yardımıyla üretilir. Eklenen damga işaretinin değerlerini orta frekans bileşeninin AKD katsayıları ile ölçeklendirmek için seçilen bloğun AKD katsayılarının ortalama veya en büyük değerlerinden biri ölçeklendirme fonksiyonu $f(\cdot)$, ağırlıklandırma katsayısı k ile birlikte damga işaretine uygulanmıştır. Bu işlemin matematiksel ifadesi 4.12'de görülmektedir.

$$\begin{aligned} AKD\{I_{BIW}(u, v)\} &= AKD\{I_{BI}(u, v)\} + k \cdot f(AKD\{I_{BI}(u, v)\})W(k, l) \\ I_{BIW}(k, l) &= I_{BI}(k, l) + kf(I_{BI}(k, l))W(k, l) \end{aligned} \quad (4.12)$$

4.2.3 2B Maskeleme: Orta Frekans AKD Katsayılarının Maskeyle Seçilmesi

AKD işlemi seçilen alt bant görüntüye 8x8 boyutunda bloklar halinde uygulanır. Dayanıklılığı artırmak için damga işareti AKD'si alınan katsayıların tümü yerine şekil 4.11'de yer alan iki boyutlu maskeler yardımıyla seçilen 30 tane AKD katsayısının orta frekans bileşenlerine eklenmektedir. Maske fonksiyonları $g(\cdot)$ ile ifade edilmektedir.



Şekil 4.11 İki boyutlu katsayı seçme maskeleri

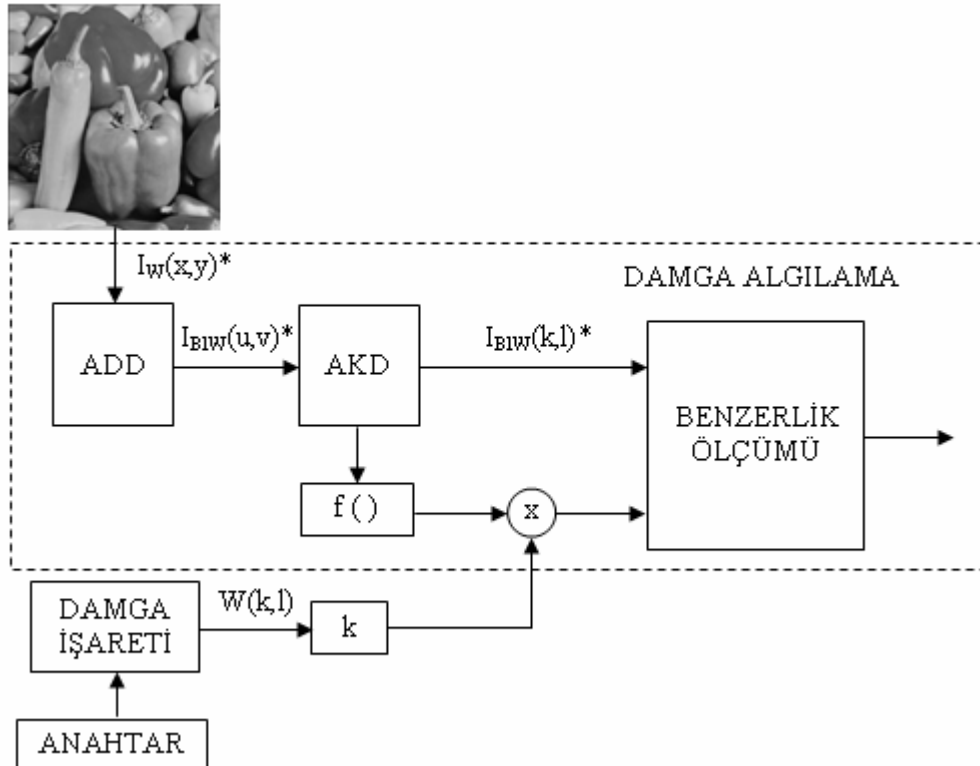
Eklenen damga işaretinin değerlerini orta frekans bileşeninin AKD katsayıları ile ölçeklendirmek için seçilen bloğun AKD katsayılarının en büyük yada ortalama değeri $f(.)$, ağırlıklandırma katsayısı k ile birlikte damga işaretine uygulanmıştır. Basitlik sağlamak için k ağırlıklandırma katsayısı ve $f(.)$ ölçeklendirme fonksiyonu yeni bir değişkenle K ile ifade edilecektir. Bu işlemin matematiksel ifadesi 4.13'tedir.

$$I_{BIW}(k,l) = g\{I_{BI}(k,l) + W(k,l)\}, \quad K = kf(.) \quad (4.13)$$

Bu yöntemin çeşitli temel görüntüler üzerinde denenmesi sonucunda; maske yardımıyla seçilen AKD katsayılarına damga işaretinin eklenmesiyle oluşan blok etkisi şekil 4.11'de yer alan ikinci maske kullanılarak ortadan kaldırılmıştır.

4.2.4 Toplamsal Damganın Algılanması

Daha önceki yaklaşımda olduğu gibi damga algılama işleminde asıl görüntüye ihtiyaç duyulmadan, damgalanmış görüntü, ağırlıklandırma katsayısı ve damgayı oluşturmada kullanılan çekirdek değeri kullanılmıştır. Şekil 4.12'de ADD-AKD tabanlı toplamsal damga algılama işleminin blok yapısı görülmektedir.



Şekil 4.12 ADD-AKD tabanlı toplamsal damga algılama işlemi

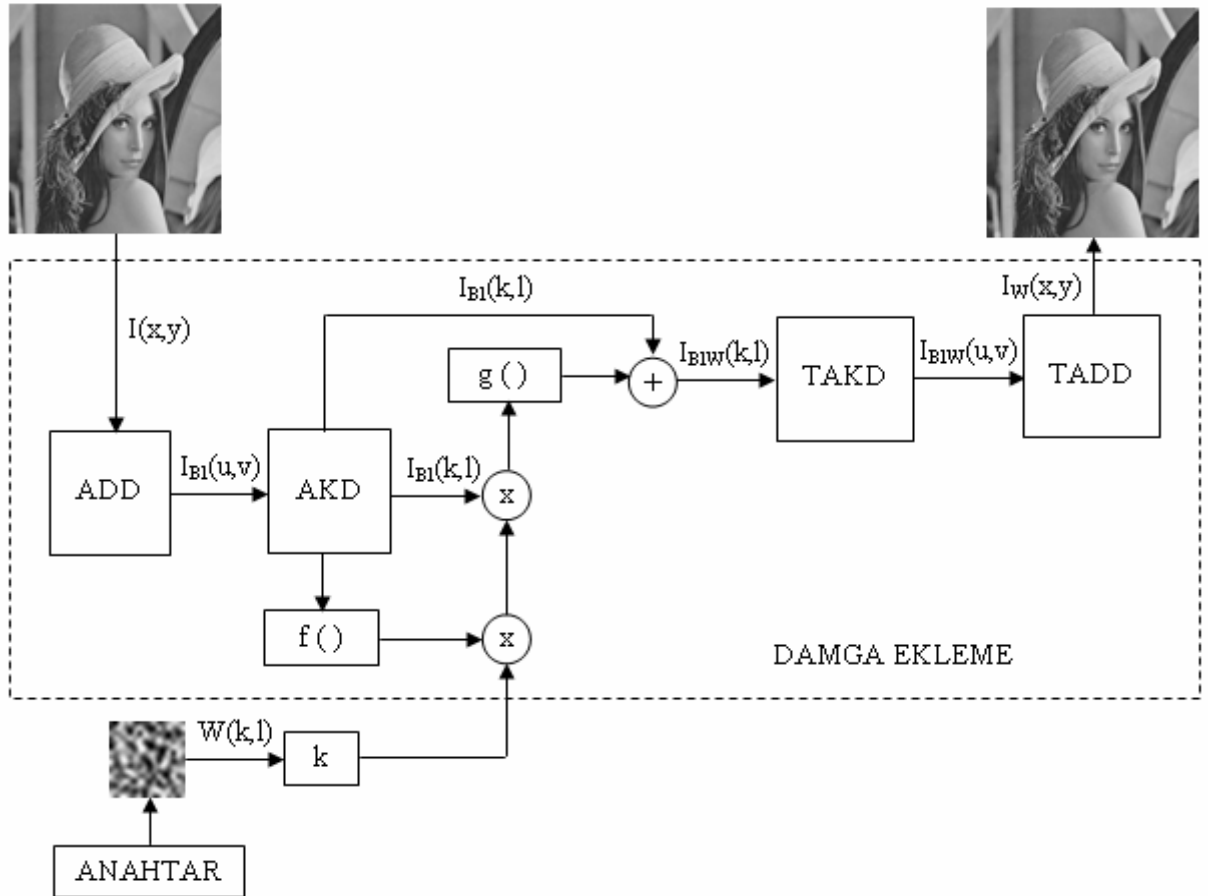
Algılama işlemi; damgalanması muhtemel görüntü ile bu görüntüye yerleştirilmiş her seviyede N adet damga işareti için benzerlik ölçümü hesaplanarak yapılır. Asıl görüntü ve damga işaretinin ilişkisiz olduğu varsayımı altında, algılama işleminin genel benzerlik ölçümünün ifadesi 4.14’de verilmiştir.

$$\begin{aligned} E[I_{BIW}^* W] &= E[(I_{BI} + KW)W] \\ sm_W &= E[I_{BI}W] + KE[W^2] \\ sm_W &= KE[W^2] \end{aligned} \quad (4.14)$$

4.2.5 Görüntü Bağımlı Damgalama

Fark edilmezliği daha da artırmak için damga işareti asıl görüntüyle 4.15’te görüldüğü gibi bağımlı hale getirilmiştir. Şekil 4.13’te AKD-ADD tabanlı görüntü bağımlı damgalama işleminin blok yapısı görülmektedir.

$$I_{BIW}(k,l) = I_{BI}(k,l) + Kg\{I_{BI}(k,l)W(k,l)\} \quad (4.15)$$



Şekil 4.13 AKD-ADD tabanlı görüntü bağımlı damgalama işlemi

4.2.6 Görüntü Bağımlı Damganın Algılanması

Damga işaretinin algılanması aşamasında algılama başarımını artırmak için benzerlik ölçümü daha derinlemesine yapılır. Bu amaçla benzerlik ölçümü için iki farklı ölçüt kullanılır. İlk ölçüt bütün düşey ve yatay bileşenlerden seçilen 8x8'lik bloklar için yapılan benzerlik ölçümü karşılaştırmasıdır. İkinci ölçüt, her seviye için yapılan toplam ortalama benzerlik ölçümüdür. Damga algılama işleminde kullanılan genel benzerlik ölçümünün ifadesi 4.16'da yer almaktadır.

$$E[I_{BIW}^* \cdot I_{BIW}^W] = E[(I_{BI} + KI_{BI}W)W \cdot (I_{BI} + KI_{BI}W)]$$

$$sm_W = E[I_{BI}^2 W^2] + 2KE[I_{BI}^2 W^2] + K^2 E[I_{BI}^2 W^3] \quad (4.16)$$

İki benzerlik ölçümü ölçütlerinin hesaplanmasında aşağıdaki adımlar takip edilir.

1. Daha önceki yaklaşımdan farklı olarak benzerlik ölçümü alınan damgalanması muhtemel görüntü $I_{BIW}(k,l)^*$ ve $I_{BIW}(k,l)^W$ arasında yapılmaktadır. $I_{BIW}(k,l)^W$; damgalanması muhtemel görüntü $I_{BIW}(k,l)^*$ ile damga işaretinin $W(k,l)$ çarpımından elde edilmektedir. Bu işlemin matematiksel ifadesi 4.17'de verilmiştir.

$$I_{BIW}^W(k,l) = I_{BIW}^*(k,l)W(k,l) \quad (4.17)$$

Her 8x8 D ve Y blokları için benzerlik ölçümü 4.18'de görülmektedir. cd ve cy D veya Y bloğundaki damga algılamayı tutan sayaçlardır.

$$sm_D = E[I_{DIW}^* \cdot I_{DIW}^W] \quad sm_Y = E[I_{YIW}^* \cdot I_{YIW}^W] \quad (4.18)$$

$$sm_D > sm_Y, \quad cd = cd + 1, \quad sm_Y > sm_D, \quad cy = cy + 1$$

2. Eğer görüntünün damgalanmadığını kabul edersek ($k=0$) 4.16'da yer alan benzerlik ölçümü aşağıdaki gibi olacaktır,

$$sm = E[I_{BIW}^* \cdot I_{BIW}^W] = E[I_{BIW} \cdot W \cdot I_{BIW}] = E[I_{BIW}^2 W] \quad (4.19)$$

Damga işareti ile asıl görüntünün ilişkisiz olduğu varsayımı altında 4.16 ve 4.19'daki benzerlik ölçümü ifadesi daha da sadeleşecektir,

$$sm_W = 2KE[I_{BI}^2 W^2] + K^2 E[I_{BI}^2 W^3] \quad (4.20)$$

$$sm = 0$$

burada $I_{BI}(k,l)$ aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$I_{Bl}(k,l) = I_{BIW}(k,l) / (1 + KW(k,l)) \quad (4.21)$$

Bu durumda eşik değeri th , sm ve sm_W arasında seçilir.

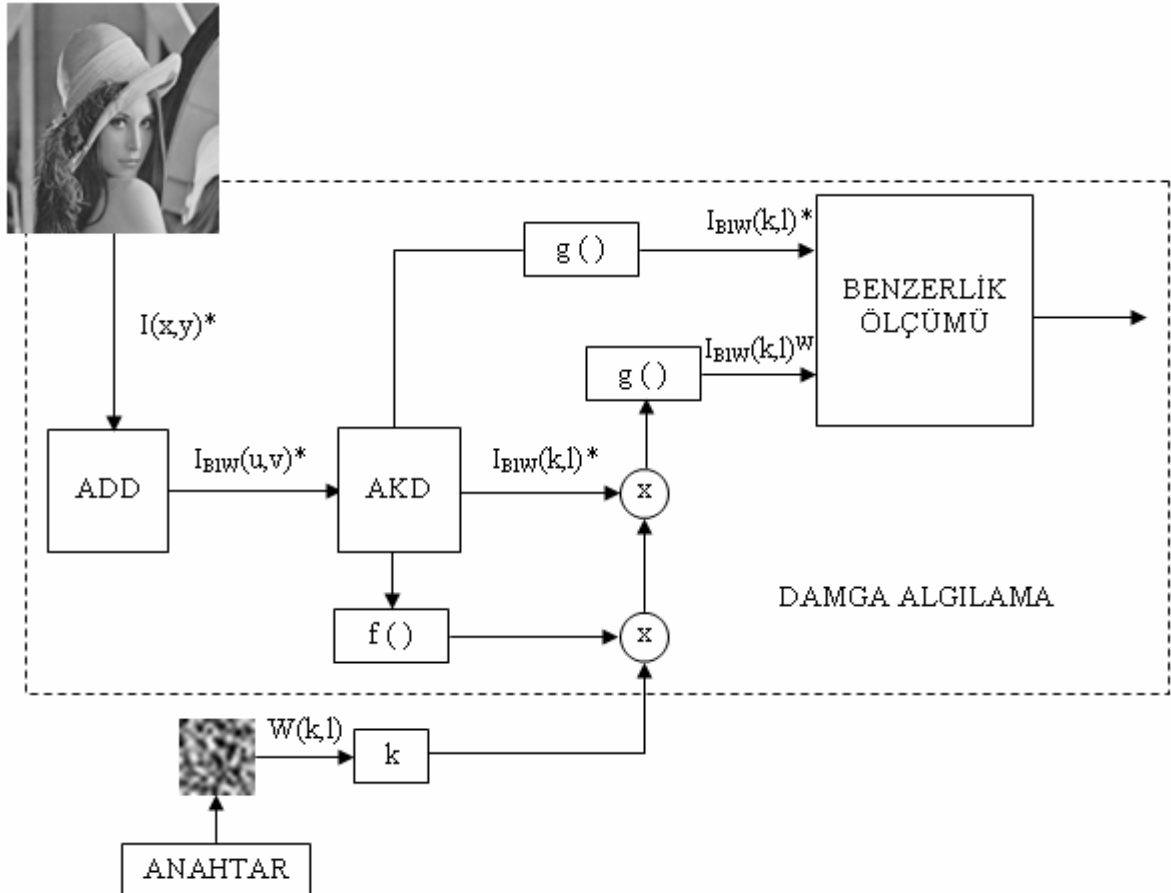
$$sm < th < sm_W \quad (4.22)$$

3. Her seviye için D ve Y bileşenlerinin ortalama benzerlik ölçümü ve eşik değerleri aşağıdaki gibi toplam N adet 8×8 'lik bloğun ortalaması alınarak hesaplanır.

$$\begin{aligned} sm_{OY} &= ort(sm_{Yl})_i, & th_{OY} &= ort(th_{Yl})_i, & i &= 1, \dots, N \\ sm_{OD} &= ort(sm_{Dl})_i, & th_{OD} &= ort(th_{Dl})_i, & i &= 1, \dots, N \end{aligned} \quad (4.23)$$

Burada karar işlemi aşağıdaki gibi yapılır.

$$kr = \begin{cases} sm_{OY} > th_{OY}, sm_{OD} < th_{OD}, cy > cd; & Y \text{ damgalanmış} \\ sm_{OD} > th_{OD}, sm_{OY} < th_{OY}, cd > cy; & D \text{ damgalanmış} \\ sm_{OY} > th_{OY}, sm_{OD} > th_{OD}, cy \cong cd; & \text{Hatalı Algılama} \\ sm_{OY} < th_{OY}, sm_{OD} < th_{OD}, cy \cong cd; & \text{Damgalama yok} \end{cases} \quad (4.24)$$



Şekil 4.14 AKD-ADD tabanlı görüntü bağımlı damga algılama işlemi

Bu işlemler bütün ADD seviyeleri için tekrar edilerek Y bileşeni için en büyük cy/cd oranına, D bileşeni için cd/cy oranına bakılarak damgalamanın hangi seviyede yapıldığına karar verilir. Şekil 4.14’de görüntü bağımlı algılama işleminin blok yapısı görülmektedir.

Söz konusu yöntem çeşitli temel görüntüler üzerinde uygulandığında; damga algılama işleminde daha kararlı sonuçlar elde edilerek hatalı algılama oranı azaltılmış ve Stirmark 3.1 deneme sistemi sonuçları da artmıştır (Emek, Pazarcı ve Yücel, 2004; Emek ve Pazarcı, 2005).

4.3 ADD-AKD Katsayılarının Modellenmesi

Algılama olasılıklarını ve algılama hata olasılıklarını tanımlamak için algılama yaptığımız değişkeni rastlantısal olarak modellemek gereklidir. Bu konuda yapılan çalışmalarda Hernández, Amado, ve Pérez-Gonzalez, (2000) tarafından AKD boyutunda damgalanmış görüntüler, ayrıca Nikoliadis ve Pitas (2002) tarafından AKD ve ADD boyutunda damgalanmış görüntüler, genelleştirilmiş Gauss dağılımıyla modellenmiştir.

Bu çalışmada asıl görüntü $I_{Bl}(k,l)$ sıfır ortalamalı, σ_I^2 varyanslı, γ şekillendirme parametresi ile tanımlı genelleştirilmiş Gaussian Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu (OYF) $N(0, \sigma_I, \gamma)$ ile modellenmiştir. Genelleştirilmiş Gaussian OYF’nun ifadesi 4.25’de yer almaktadır.

$$p(I_w) = ae^{-\{bI_w\}^\gamma}$$

$$a = \frac{b\gamma}{2\Gamma(\frac{1}{\gamma})}, \quad b = \frac{1}{\sigma_{Iw}} \sqrt{\frac{\Gamma(\frac{3}{\gamma})}{\Gamma(\frac{1}{\gamma})}} \quad (4.25)$$

Burada $\Gamma(.)$ Gamma fonksiyonudur, $\gamma=2$ için fonksiyon genelleştirilmiş Gaussian OYF’yi, $\gamma=1$ için aynı ifade Laplacian OYF’yi gösterir.

Algılama işlemini modelleme de basitlik sağlama açısından damgalama işlemi $I_w = I + kW$ ve damga algılama işlemi $E[I_w, W] = E[(I + kW)W]$ toplamsal olarak kabul edilmiştir. Ayrıca damga işareti $W(k,l)$ $\{-1, 1\}$ değerlerini alacak şekilde ikili olarak üretilmektedir. Bu yaklaşımlar altında damgalanmış görüntüde $I_{BIW}(k,l)$ μ_w ortalamalı, σ_{Iw}^2 varyanslı, γ şekillendirme parametresi ile tanımlı genelleştirilmiş Gaussian dağılım $N(\mu_w, \sigma_I, \gamma)$ ile modellenebilir. Asıl görüntüye ve damgalanmış görüntüye ait OYF’leri şekil 4.15’de yer almaktadır.

Hernández, Amado, ve Pérez-Gonzalez (2000) tarafından yapılan çalışmada H_0 damgalamanın olmadığı durumu ve H_1 damgalamanın gerçekleştiği durumu gösterir. Bu

işlemin matematiksel gösterlimi 4.26'da görülmektedir.

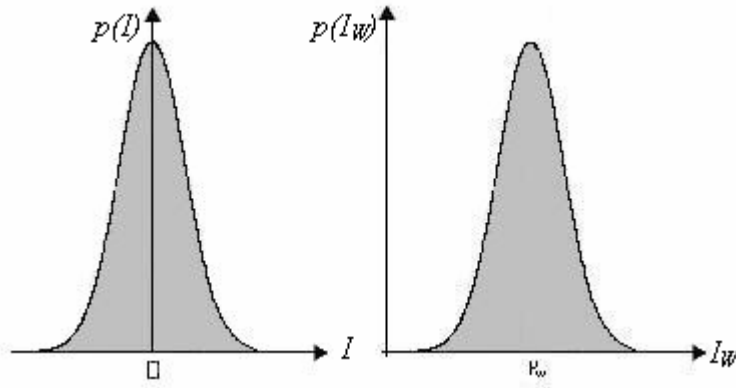
$$\begin{aligned} H_1 : I_w(k, l) &= I(k, l)[1 + K.f(k, l)W(k, l)] \\ H_0 : I_w(k, l) &= I(k, l) \end{aligned} \quad (4.26)$$

Damganın varlığına karar vermek için bu yaklaşımlar En Büyük Benzerlik (EBB) (Maximum Likelihood, ML) kuralı kullanılarak 4.27'deki gibi ifade edilir.

$$\begin{aligned} H_1 : \Lambda(I_w) &> th \\ H_0 : \Lambda(I_w) &< th \end{aligned} \quad (4.27)$$

Burada $\Lambda(I_w)$ EBB fonksiyonunu, th karar eşiğini göstermektedir. EBB fonksiyonu 4.28'de tanımlıdır, J damgalanan görüntü katsayılarının sayısını göstermektedir.

$$\Lambda(I_w) = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J \frac{p(I_{w(j)} | H_1, W)}{p(I_{w(j)} | H_0)} \quad (4.28)$$



Şekil 4.15 Asıl görüntü ve damgalanmış görüntü işaretine ait OYF'ler

Benzer yaklaşım bizim çalışmamıza uygulanırsa; H_0 damgalamanın olmadığı durumda, asıl görüntü $I_{Bl}(k, l)$ sıfır ortalamalı, σ_I^2 varyanslı, γ şekillendirme parametresi ile tanımlı genelleştirilmiş Gaussian dağılım $N(0, \sigma_I, \gamma)$ ile modellenir. H_1 damgalamanın gerçekleştiği durumda, damgalanmış görüntü de $I_{BlW}(k, l)$ μ_w ortalamalı, σ_{Iw}^2 varyanslı, γ şekillendirme parametresi ile tanımlı genelleştirilmiş Gaussian dağılım $N(\mu_w, \sigma_I, \gamma)$ ile modellenebilir. Bu ancak $W(k, l)$ 'nin ikili olmasıyla mümkündür. Bu yaklaşımlar altında Doğru Algılama ve Negatif Hata olasılıkları 4.27'deki gibi tanımlanır.

$$P_{NH} = \frac{1}{N * L} Q\left(\frac{th + m_{Iw}}{\sigma_{Iw}}\right), \quad P_{DA} = 1 - P_{NH} \quad (4.29)$$

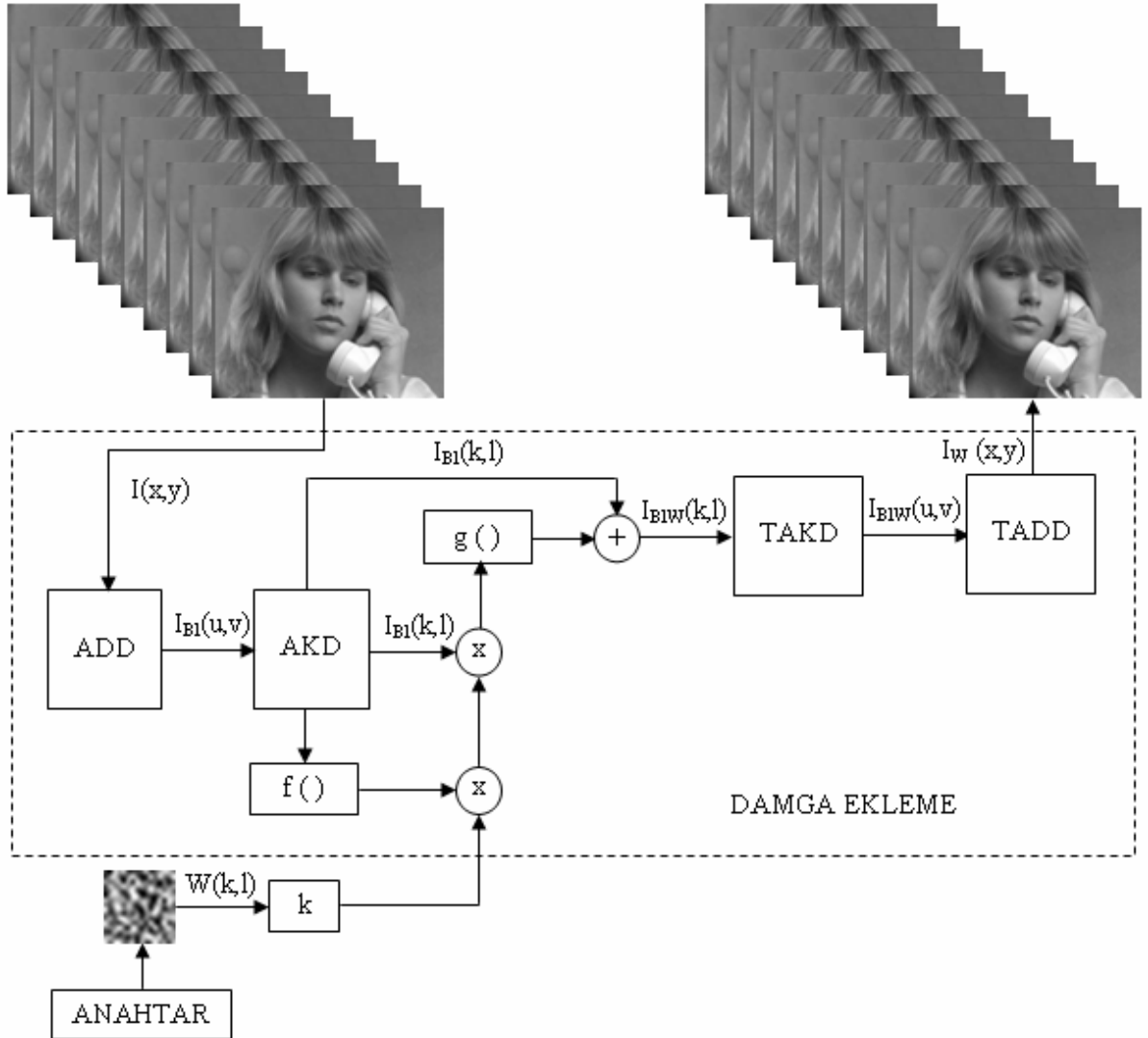
Burada th algılama eşik değerini, m_{Iw} : H_I durumunda ortalama değeri, σ_{Iw} : H_I durumunda standart sapma değerini, L : ADD seviye değerini, N : işlenen 8x8 blok adedini göstermektedir.

4.4 Video İşaretlerinin ADD-AKD Yöntemiyle Damgalama ve Damganın Algılanması

Literatürde yaygın olarak görüleceği üzere sabit görüntüler için elde edilen damgalama yöntemleri video işaretleri üzerinde de uygulanmaktadır. ADD-AKD tabanlı damgalama yöntemi bu yaklaşım çerçevesinde video işaretlerine uygulanmıştır.

4.4.1 MPEG-2 Video İşaretlerinin Damgalanması ve Damganın Algılanması

Yöntemin MPEG-2 işaretlerine uygulanması kullanım alanına göre; gerçel zamanlı olmayan kaynakta yapılan damgalama ve gerçel zamanlı damgalama olarak sınıflandırılabilir.

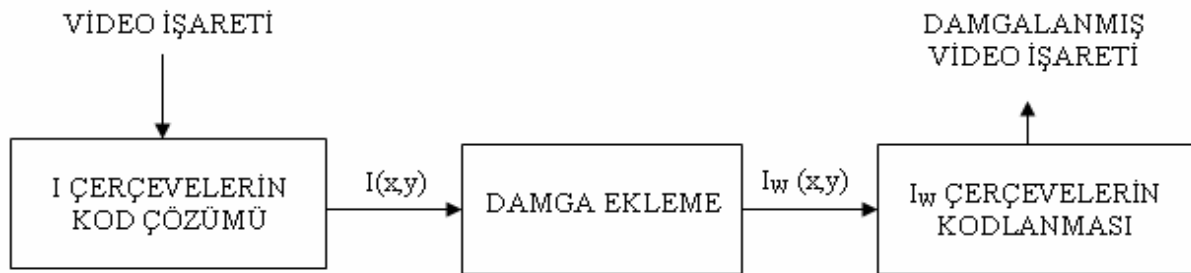


Şekil 4.16 MPEG-2 iletim dizisi I, P veya B çerçevelerinden birinin damgalanması

Kaynakta yapılan ve gerçel zamanlı olmayan uygulamalarda; MPEG-2 iletim dizisi çerçevelerine ayrıldıktan sonra damga her GOP içerisinde I, P veya B çerçevelerinden birine eklenir. Damga, P ve B çerçevelerine eklendiğinde bu çerçevelerden kodlanan diğer çerçeveler üzerinde bozucu bir etki yaratmamaktadır. Sonuç olarak damga, kodlama hatası olarak değerlendirilip diğer çerçeveler etkilememektedir. Şekil 4.16'da MPEG-2 iletim dizisinin I, P veya B çerçevelerinden birine damga eklenmesi görülmektedir.

Gerçel zamanlı olmayan damga algılamada; damgalanmış MPEG-2 iletim dizisi MPEG-2 kod çözücü ile bileşenlerine ayrıldıktan sonra damga, her GOP içerisinde I, P veya B çerçevelerinde aranır.

Gerçel zamanlı uygulamalarda, damgalama işleminin belirli bir sürede yapılması önemlidir. Bu nedenle MPEG-2 iletim dizisinden sadece I çerçevelerinin kodu çözülüp üzerinde sayısal damga eklenerek damgalama gerçekleştirilir. MPEG-2 iletim dizisinin kodlanması sırasında, B ve P çerçevelerde referans olarak I çerçeveler kullanılır. Fakat damgalanmış MPEG-2 iletim dizisinde akışa damgalanmış I_w çerçeveleri yerleştirilir. Yani damgalamanın MPEG kodlanmış bir video işarete uygulanması halinde akış içinde sadece I çerçevelerin değiştirilmesi yeterli olur. Pratikte kullanılan resim grubu uzunlukları için sayısal damgalamadan kaynaklanan hata oranı video işaretinde bozulmaya neden olmayacak kadar küçük olacak şekilde elde edilmiştir. Şekil 4.17'de MPEG-2 iletim dizisinin I çerçevelerine damga eklenmesi görülmektedir.



Şekil 4.17 Kodu çözülmüş MPEG-2, I çerçevelerinin damgalanması

Gerçel zamanlı damga algılamada; damgalanmış MPEG-2 iletim dizisi MPEG-2 kod çözücü ile bileşenlerine ayrıldıktan sonra damga, her GOP içerisinde I çerçevelerinden başarıyla algılanmıştır.

ADD-AKD tabanlı sayısal damgalama yöntemi teorik olarak video kaydedici cihazlarda kullanılmak üzere düşünülmüştür. Bu durumda MPEG-2 iletim dizisinde sadece I çerçevelerin damgalanması amaçlanmıştır. Bu gerçel zamanlı uygulamayla izinsiz olarak kopyalanmış

video işaretinden kopyalamanın kaynağını belirleme amaçlanmaktadır. Vido işaretinde damgalamadan kaynaklanan hata bozulmaya neden olmayacak ve inzsan gözü tarafından fark edilemeyecek düzeyde küçüktür. Bu hata kodlayıcı tarafından kodlama hatası olarak değerlendirilip diğer çerçevelere yansıtılmamaktadır (Emek ve Pazarcı 2004, Emek ve Yücel 2005).

4.4.2 MPEG-4 Video İşaretlerinin Damgalanması ve Damganın Algılanması

AKD-ADD tabanlı sayısal damgalama yöntemi MPEG-4 işaretlerine de uygulanmıştır. I çerçeveleri üzerine damga eklenmiş MPEG-2 iletim dizisi H.264 AVC ve WM9 kodekleri kullanılarak MPEG-4 ve WM9 formatlarında video işaretleri elde edilmiştir. MPEG-4 olarak kodlanmış görüntü üzerinde damgalamanın gözle görülür etkisi yoktur. Ayrıca damgalanmış MPEG-2 video işaretinden MPEG-4 video işareti elde edilmesi sırasında damgada herhangi bir bozulma yada kaybolma meydana gelmemiştir. Damga MPEG-4 iletim dizisinin I çerçevelerinden algılanır.

4.5 Sonuç

Sabit görüntüler üzerindeki başarıımı literatürde yer alan sadece ADD, sadece AKD veya ADD'ye kaskad frekans dönüşümü yöntemlerine göre daha başarılıdır. Bu yöntemde, iki dönüşümün ardışıl uygulanmasından dolayı işlem yükünde meydana gelen artış fark edilmezliğin ve damgalama dayanıklılığının artırılmasıyla tolere edilmektedir. Bu yönüyle de MPEG-2 iletim dizilerine uygulandığında iyi bir başarıım elde edilmiştir. ADD-AKD tabanlı sayısal damgalama yöntemi literatürde var olan damgalama yöntemlerinden farklı olarak, ADD'ye dayalı yapısı dolayısıyla JPEG2000 formatında sıkıştırılacak görüntüler ve MPEG- 4 veya Dirac formatında kodlanacak video işaretleri için teorik olarak daha uygun bir damgalama yöntemidir.

5. BENZETİMLER VE SONUÇLAR

Bu bölümünde tez çalışmasında kullanılan Ayrık Dalgacık Dönüşümü – Ayrık Kosinüs Dönüşümü tabanlı sayısal damgalama yöntemi ile ilgili benzetim ve sonuçlar verilecektir. Literatürde uygulanan yöntemlerle karşılaştırma yapılabilmesi için kullanılan başarımlar ölçütleri ve karşılaştırmalı sına test sistemi açıklanacaktır.

5.1 Benzetimlerde Kullanılan Ölçütler

5.1.1 Başarımlar Ölçütleri

Damgalama yöntemlerinin başarımlarını ölçmede farklı ölçütler kullanılmasına karşın Ortalama Karesel Hata ve Tepeden Tepeye İşaret Gürültü Oranı yaygın olarak tercih edilmektedir. Bizim yaptığımız çalışmalarda da iki kriter ölçeklendirilmiş olarak kullanılmıştır.

- Ölçeklendirilmiş Ortalama Karesel Hata:

$$\ddot{OKH} = \frac{1}{MN} \sum_m^M \sum_n^N \left(\frac{I_w(m,n) - I(m,n)}{255} \right)^2 \quad (5.1)$$

burada $I(m,n)$ asıl görüntüyü, $I_w(m,n)$ damgalanmış görüntüyü göstermektedir. Kullanılan görüntülerin piksel değerleri 8 bitle kodlandığından tepe değeri olarak 255 alınmıştır.

- Ölçeklendirilmiş Tepeden Tepeye İşaret Gürültü Oranı:

$$\ddot{OTIGO} = 10 \log_{10} \frac{1^2}{\ddot{OKH}} \quad (5.2)$$

Ölçeklendirilmiş tepeden tepeye işaret gürültü oranı, ölçeklendirilmiş ortalama karesel hata yardımıyla hesaplandığından en büyük değeri 1 olarak alınmıştır.

Daha önce ADD-AKD Katsayılarının Modellenmesi bölümünde verilen, hata olasılığı tanımları yaptığımız çalışmalarda kullanılmıştır. Hata fonksiyonu (Kingsbury) tanımları 5.3'te olduğu gibi kabul edilerek negatif hata ve doğru algılama olasılık tanımları yapılmıştır.

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-t^2/2} dt, \quad \text{erfc}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^\infty e^{-t^2} dt, \quad Q(x) = \frac{1}{2} \text{erfc}\left(\frac{x}{\sqrt{2}}\right) \quad (5.3)$$

- Negatif Hata Olasılığı:

$$P_{NH} = \frac{1}{N * L} Q\left(\frac{T + m_{Iw}}{\sigma_{Iw}}\right) \quad (5.4)$$

burada σ_{Iw}^2 damgalanmış görüntünün değışinti değeri, m_{Iw} damgalanmış görüntünün ortalama değeri, th algılama eşik değeri, L : ADD seviye değeri, N : işlenen 8x8 blok adedini göstermektedir.

- Doğru Algılama Olasılığı:

$$P_{DA} = 1 - P_{NH} \quad (5.5)$$

5.1.2 Karşılaştırmalı Sınama Test Sistemi

Damgalama yönteminin başarımını diğer damgalama sistemleri ile karşılaştırmak için literatürde yaygın olarak kullanılan Stirmark 3.1 karşılaştırmalı sınama test sistemi kullanılmıştır (Kutter ve Petitcolas, 1999). Bu amaçla damgalanmış görüntüye;

- küçük açılarla döndürme ve kırpma (rotation by small angel and cropping)
- küçük açılarla döndürme, kırpma ve tekrar asıl boyutuna ölçeklendirme
- ölçeklendirme
- merkezlenmiş kırpma (centered cropping)
- keskinleştirme
- döndürme
- Median süzgeçleme
- Gaussian süzgeçleme
- Frequency Mode Laplacian Removal (FLMR)
- JPEG sıkıştırma
- simetrik ve asimetrik satır ve sütun çıkarma
- simetrik ve asimetrik kesme (shearing)
- genel doğrusal geometrik dönüşüm
- rastlantısal geometrik dönüşüm

yöntemleri kullanılarak saldırılar düzenlenir. Daha sonra saldırı düzenlenmiş görüntü kullanılarak damga algılanmaya çalışılır.

5.2 Benzetim Sonuçları

5.2.1 ADD Tabanlı Damgalama ve Damga Algılama Sonuçları

Çalışmanın ilk aşamalarında yapılan damgalama yönteminde; siyah beyaz görüntü birinci seviyeden Daubechies (Daubechies, 1990) süzgeç katsayıları kullanılarak ADD yardımıyla dördüncü seviyeye kadar alt bantlara ayrılır. Görüntünün herhangi bir seviyesindeki herhangi bir alt bandına damga olarak seçilen logo görüntüsü eklenerek damgalama işlemi gerçekleştirilmiştir.

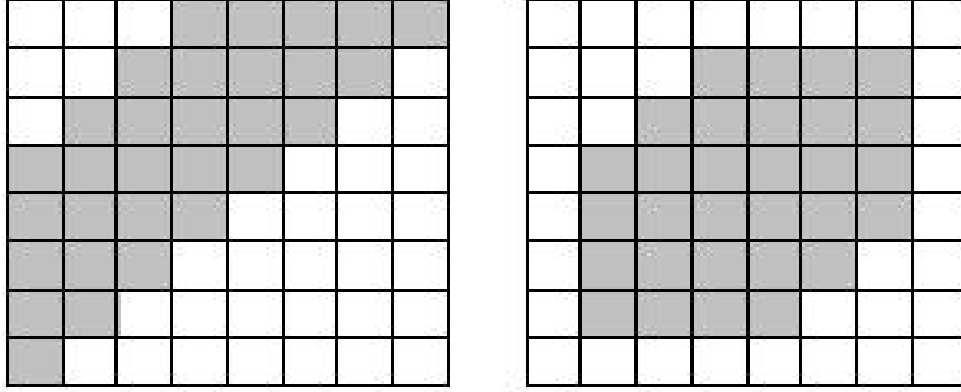


Şekil 5.1 ADD tabanlı damgalamada kullanılan Lenna görüntüleri

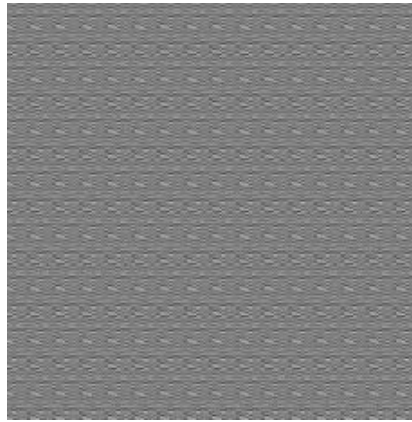
Gömülen damga; damgalanmış görüntüden ağırlıklandırma katsayısının bilinmesi koşuluyla çıkarılmış ve asıl görüntü elde edilmiştir. Algılama işlemi; damgalanması muhtemel görüntü ile damga işareti arasındaki benzerlik ölçümü hesaplanarak yapılmıştır. Şekil 5.1’de asıl görüntü, damga olarak kullanılan logo görüntüsü ve ağır bir şekilde damgalanmış Lenna görüntüsü görülmektedir.

5.2.2 ADD-AKD Tabanlı Damgalamada Katsayı Seçme Maskelerinin Etkisi

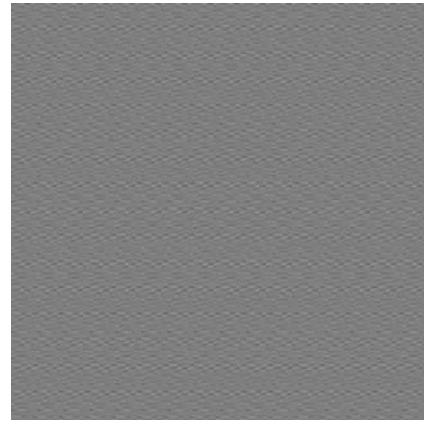
ADD-AKD tabanlı damgalama yönteminde AKD katsayılarını seçmek için kullanılan süzgeçlerin etkisini görmek üzere benzetimlerde gri görüntüler kullanılmıştır. Damga asıl görüntüye, görüntü bağımlı ($I_W = I + kIW$) eklendiği durumda etki görülmediği için toplamsal olarak ($I_W = I + kW$) eklenmiştir. Etkiyi gözle görünür hale getirmek için ağırlıklandırma katsayısı büyütülerek ağır damgalama uygulanmıştır. Şekil 5.2’de orta frekans AKD katsayılarını seçmede kullanılan maskeler yer almaktadır. Şekilde açık olarak görünen yerler maske katsayısı olarak 0 değerini, koyu olarak görünen yerler maske katsayısı olarak 1 değerini temsil etmektedir. Benzetimlerde ilk maskenin kullanımından oluşan blok etkisini kaldırmak için ikinci maske kullanılmıştır. Şekil 5.3’de daha önce tanımlanan maskeler için maske etkisini gösteren gri görüntüler yer almaktadır.



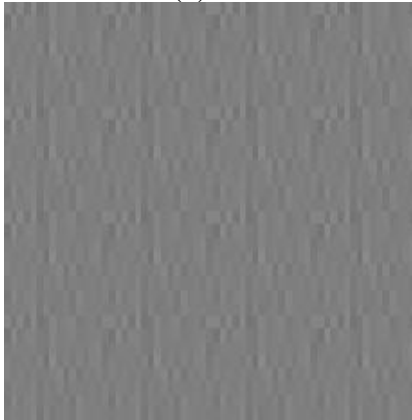
Şekil 5.2 İki boyutlu katsayı seçme maskeleri



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 5.3 IV. seviye, düşey (a) I. maske (b) II. maske etkisi

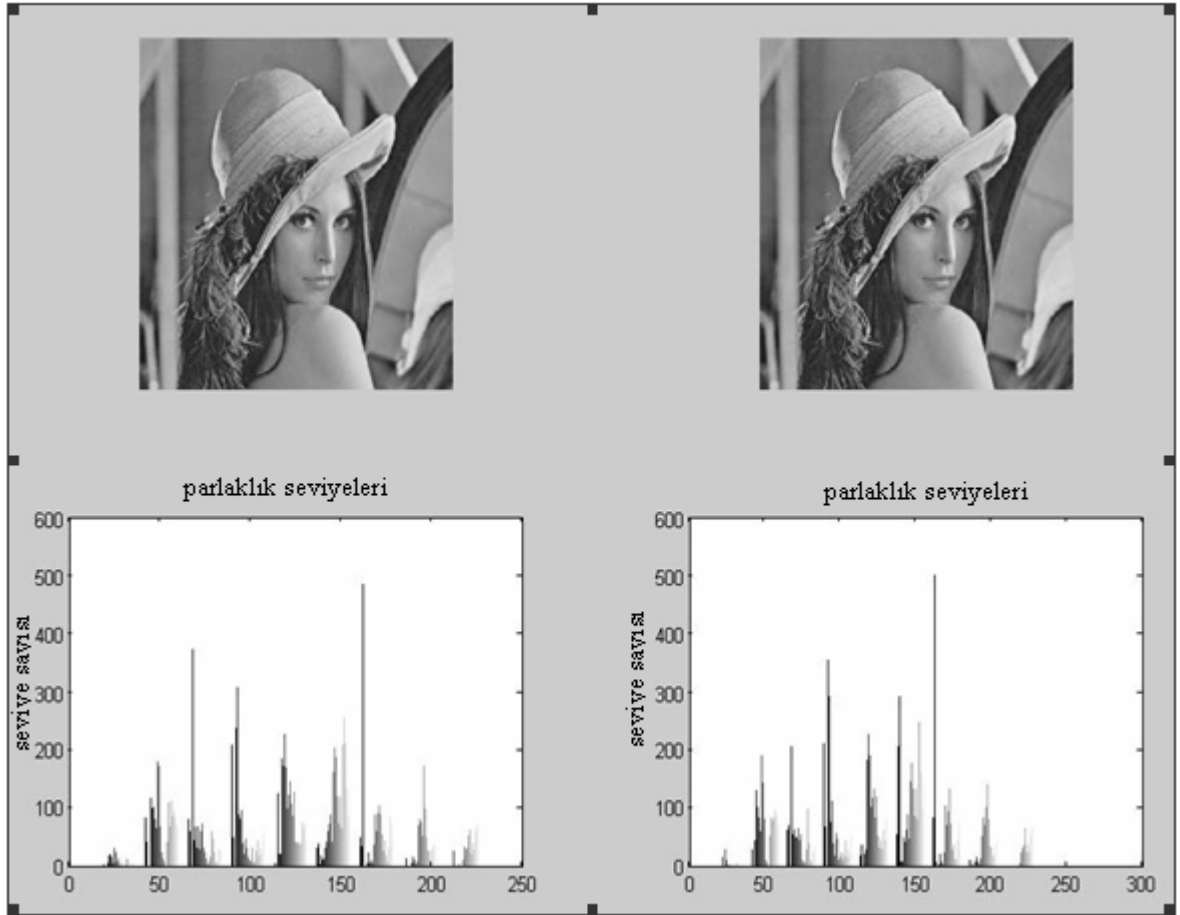
II. seviye, yatay (a) I. maske (b) II. maske etkisi ÖTİGO $\approx$ 30dB

5.2.3 ADD-AKD Tabanlı Görüntü Bağımlı Damgalama ve Damga Algılama Sonuçları

ADD-AKD tabanlı sayısal damgalama yöntemi literatürde yaygın olarak kullanılan 512x512 boyutlu 8 bitle kodlanmış siyah-beyaz Lenna, Baboon, Boat ve Peppers görüntüleri üzerinde denenmiştir. ADD işleminde birinci seviyeden Daubechies süzgeç katsayıları kullanılmıştır.

Benzetimlerde k ağırlıklandırma katsayısı, hedeflenen [35-45]dB ÖTİGO değerini sağlamak için [1-5] aralığında belirlenmiştir. $f(.)$ ölçeklendirme fonksiyonu olarak üzerinde işlem yapılan 8x8 bloğun en büyük değeri kullanılmıştır.

Damgalamanın histogram üzerindeki etkisi şekil 5.4'te gösterilmiştir. Şekil 5.4'de asıl görüntü, damgalanmış görüntü, asıl görüntü histogramı, damgalanmış görüntü histogramı yer almaktadır. Histogramlardan da görüleceği gibi damgalamanın histogram üzerinde histogramda değişikliğe neden olabilecek bozucu bir etkisi yoktur.



Şekil 5.4 Asıl ve damgalanmış Lenna görüntüleri (çekirdek=654, II. seviye, düşey, $k=2.0$, ÖOKH=2.52E-05, ÖTİGO=46,01 dB) ve iki görüntüye ait histogramlar

Lenna, Baboon, Boat ve Peppers görüntüleri için farklı ADD seviyelerinde, farklı k katsayıları için damgalamadan kaynaklanan ÖOKH ve ÖTİGO değerleri sırasıyla çizelge 5.1, çizelge 5.2, çizelge 5.3 ve çizelge 5.4'de verilmiştir. Farklı seviyelerde farklı bileşenleri damgalanmış Lenna, Baboon, Boat ve Peppers görüntüleri sırasıyla şekil 5.5, şekil 5.6, şekil 5.7 ve şekil 5.8'de yer almaktadır. Damgalama etkisi, görüntülerde insan gözü tarafından algılanabilecek görsel bir bozulmaya neden olamayacak kadar küçüktür.

Çizelge 5.1 Farklı seviyelerde damgalanmış Lenna için ÖOKH ve ÖTİGO değerleri

SEVİYE	KATSAYI	BİLEŞEN	ÇEKİRDEK	ÖOKH	ÖTİGO
1	3.0	Y	654	6.06E-05	42.12
1	3.0	D	654	9.09E-05	40.41
2	2.0	Y	654	4.11E-05	43.86
2	2.0	D	654	2.52E-05	46.01
3	1.0	Y	654	7.75E-07	61.11
3	1.0	D	654	2.97E-05	45.27
4	1.0	Y	654	2.82E-05	45.50
4	1.0	D	654	1.40E-04	38.54



(a)



(b)



(c)



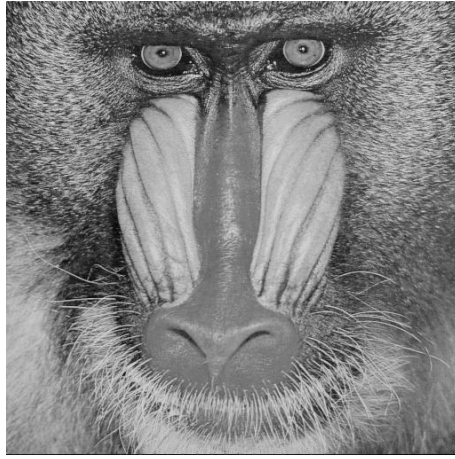
(d)

Şekil 5.5 Damgalanmış Lenna görüntüleri (çekirdek=654)

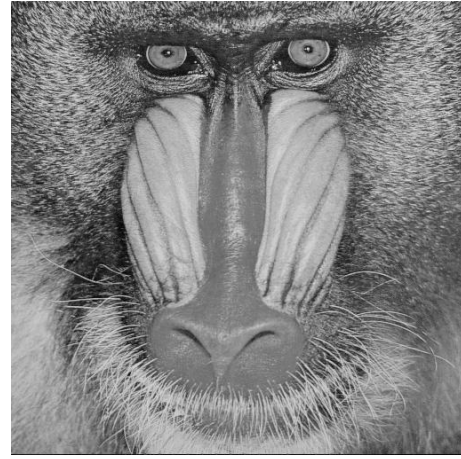
- (a) I. seviye, yatay, $k=3.0$, $\text{ÖOKH}=6.06\text{E}-05$, $\text{ÖTİGO}=42,12$ dB
 (b) II. seviye, düşey, $k=2.0$, $\text{ÖOKH}=2.52\text{E}-05$, $\text{ÖTİGO}=46,01$ dB
 (c) III. seviye, yatay, $k=1.0$, $\text{ÖOKH}=7.75\text{E}-07$, $\text{ÖTİGO}=61,11$ dB
 (d) IV. seviye, düşey, $k=1.0$, $\text{ÖOKH}=1.40\text{E}-04$, $\text{ÖTİGO}=38,54$ dB

Çizelge 5.2 Farklı seviyelerde damgalanmış Baboon için ÖOKH ve ÖTİGO değerleri

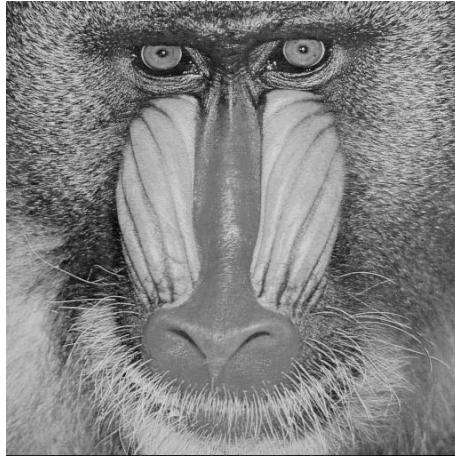
SEVİYE	KATSAYI	BİLEŞEN	ÇEKİRDEK	ÖOKH	ÖTİGO
1	1.7	Y	654	8.81E-05	40.55
1	1.7	D	654	1.51E-05	48.20
2	1.7	Y	654	7.68E-05	41.15
2	1.7	D	654	1.80E-05	47.44
3	1.7	Y	654	3.13E-05	45.04
3	1.7	D	654	1.31E-05	48.83
4	1.7	Y	654	7.11E-06	51.48
4	1.7	D	654	7.67E-05	41.46



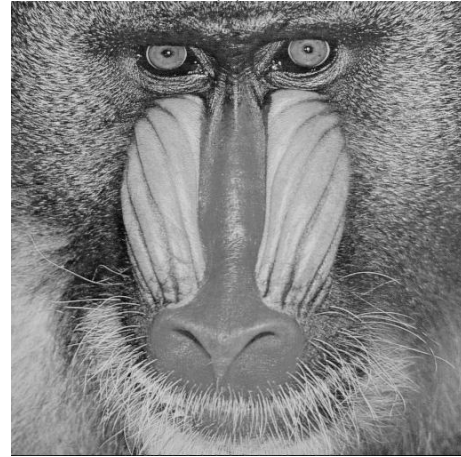
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 5.6 Damgalanmış Baboon görüntüleri (çekirdek=654)

(a) I. seviye, düşey, $k=1.7$, $\text{ÖOKH}=1.51\text{E}-05$, $\text{ÖTİGO}=48,20$ dB(b) II. seviye, yatay, $k=1.7$, $\text{ÖOKH}=7.68\text{E}-05$, $\text{ÖTİGO}=41,15$ dB(c) III. seviye, düşey, $k=1.7$, $\text{ÖOKH}=1.31\text{E}-05$, $\text{ÖTİGO}=48,83$ dB(d) IV. seviye, yatay, $k=1.7$, $\text{ÖOKH}=7.11\text{E}-06$, $\text{ÖTİGO}=51,48$ dB

Çizelge 5.3 Farklı seviyelerde damgalanmış Boat için ÖOKH ve ÖTİGO değerleri

SEVİYE	KATSAYI	BİLEŞEN	ÇEKİRDEK	ÖOKH	ÖTİGO
1	2.0	Y	654	3.02E-05	45.20
1	2.0	D	654	2.65E-06	55.76
2	2.0	Y	654	8.24E-06	50.84
2	2.0	D	654	4.04E-05	43.94
3	1.7	Y	654	1.06E-04	39.76
3	1.7	D	654	7.53E-06	51.23
4	1.7	Y	654	6.99E-05	41.55
4	1.7	D	654	1.22E-04	39,14



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 5.7 Damgalanmış Boat görüntüleri (çekirdek=654)

- (a) I. seviye, yatay, $k=2.0$, $\text{ÖOKH}=3.02\text{E}-05$, $\text{ÖTİGO}=45,20$ dB
(b) II. seviye, yatay, $k=2.0$, $\text{ÖOKH}=8.24\text{E}-06$, $\text{ÖTİGO}=50,84$ dB
(c) III. seviye, düşey, $k=1.7$, $\text{ÖOKH}=7.53\text{E}-06$, $\text{ÖTİGO}=51,23$ dB
(d) IV. seviye, düşey, $k=1.7$, $\text{ÖOKH}=1.22\text{E}-04$, $\text{ÖTİGO}=39,14$ dB

Çizelge 5.4 Farklı seviyelerde damgalanmış Peppers için ÖOKH ve ÖTİGO değerleri

SEVİYE	KATSAYI	BİLEŞEN	ÇEKİRDEK	ÖOKH	ÖTİGO
1	1.0	Y	654	3.82E-06	54.18
1	1.0	D	654	3.05E-06	55.16
2	1.0	Y	654	3.76E-06	54.25
2	1.0	D	654	1.14E-05	49.45
3	1.0	Y	654	9.82E-07	60.08
3	1.0	D	654	4.46E-05	43.51
4	1.0	Y	654	1.46E-05	48.37
4	1.0	D	654	1.54E-04	38.14



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 5.8 Damgalanmış Peppers görüntüleri (çekirdek=654)

(a) I. seviye, düşey, k=1.0, ÖOKH=3.05E-06, ÖTİGO=54,18 dB

(b) II. seviye, düşey, k=1.0, ÖOKH=1.14E-05, ÖTİGO=49,45 dB

(c) III. seviye, yatay, k=1.0, ÖOKH=9.82E-07, ÖTİGO=60,08 dB

(d) IV. seviye, yatay, k=1.0, ÖOKH=1.46E-05, ÖTİGO=48,37 dB

Görüntü bağımlı damga algılama işlemi ADD-AKD boyutunda her seviyede yatay ve düşey bileşenlerde benzerlik ölçümü yapılarak gerçekleştirilmiştir. Benzerlik ölçümü alınan damgalanması muhtemel görüntü $I_{BIW}(k,l)^*$ ile $I_{BIW}(k,l)^W$ arasında yapılmaktadır. $I_{BIW}(k,l)^W$; damgalanması muhtemel görüntü $I_{BIW}(k,l)^*$ ile damga işaretinin $W(k,l)$ çarpımından elde edilir. Damgalama eşik değeri; damgalanması muhtemel görüntü $I_{BIW}(k,l)^*$ ile yaklaşık asıl görüntü $I_{BI}(k,l)^*$ arasında yapılan benzerlik ölçümünden yatay ve düşey bileşenler için ayrı ayrı elde edilir. Yaklaşık asıl görüntü $I_{BI}(k,l)^*$; damgalanması muhtemel görüntünün $I_{BIW}(k,l)^*$ $[1+KW(k,l)]$ bölümünden elde edilir. Ortalama benzerlik ölçümlerinin ortalama eşik değerleri ile karşılaştırılmasından damganın hangi bileşende olduğuna karar verilmiştir. Her seviyede yatay ve düşey bileşenlerde belirlenen damga sayılarının oranından damgalama seviyesine karar verilmiştir.

5.2.4 AKD-ADD Tabanlı Toplamsal Damgalama ve Damga Algılama Sonuçları

ADD-AKD tabanlı toplamsal damgalama ve damga algılama yöntemi 512x512 boyutlu Lenna, Baboon, Boat ve Peppers görüntüleri üzerinde denenmiştir. Damga algılama ve negatif hata olasılıklarının hesabında basitlik sağlama açısından damgalama işlemi $I_W = I + kW$ ve damga algılama işlemi $E[I_W, W] = E[(I + kW)W]$ olarak kabul edilmiştir. Ayrıca damga işareti $W(k,l)$ $\{-1, 1\}$ değerlerini alacak şekilde ikili olarak üretilmektedir. Bu denemelerde k katsayısı [35-45]dB ÖTİGO değerini sağlamak için [0-1] aralığında belirlenmiştir. $f(.)$ ölçeklendirme fonksiyonu olarak üzerinde işlem yapılan 8x8 bloğun en büyük değeri kullanılmıştır.

Çizelge 5.5 Farklı seviyelerde algılanmış Lenna için başarımlı ölçütleri

SEVİYE	KAT.	BİL.	ÇEK.	ÖOKH	ÖTİGO	EŞİK	PNH	PDA
1	0,20	Y	4852	3,04E-05	45,17	0,0533	3,42E-04	0,9997
1	0,20	D	4852	8,13E-05	40,90	0,0928	2,82E-04	0,9997
2	0,20	Y	4852	3,77E-05	44,23	0,3333	4,90E-05	1,0000
2	0,20	D	4852	1,48E-04	38,29	0,3754	2,58E-05	1,0000
3	0,10	Y	4852	1,71E-05	47,68	0,1712	1,10E-03	0,9989
3	0,10	D	4852	5,86E-05	42,32	0,1191	1,40E-03	0,9986
4	0,05	Y	4852	1,34E-05	48,75	0,0721	5,40E-03	0,9946
4	0,05	D	4852	4,14E-05	43,83	0,0631	5,30E-03	0,9947

Lenna, Baboon, Boat ve Peppers görüntüleri için farklı ADD seviyeleri, k katsayıları için damgalamadan kaynaklanan $\ddot{O}OKH$, $\ddot{O}T\ddot{I}GO$ değerleri ve damga algılama elde edilen eşik, P_{NH} ve P_{DA} değerleri sırasıyla çizelge 5.5, çizelge 5.6, çizelge 5.7 ve çizelge 5.8’de verilmiştir.

Çizelge 5.6 Farklı seviyelerde algılanmış Baboon için başarımlar ölçütleri

SEVİYE	KAT.	BİL.	ÇEK.	ÖOKH	ÖTİGO	EŞİK	PNH	PDA
1	0,10	Y	654	1,09E-04	39,63	0,0399	3,78E-04	0,9996
1	0,10	D	654	4,34E-05	43,62	0,0680	4,60E-04	0,9995
2	0,10	Y	654	5,80E-05	42,36	0,1200	4,51E-04	0,9995
2	0,10	D	654	3,91E-05	44,09	0,1017	5,29E-04	0,9995
3	0,10	Y	654	3,17E-05	44,99	0,1673	7,79E-04	0,9992
3	0,10	D	654	4,92E-05	43,08	0,1533	8,81E-04	0,9991
4	0,10	Y	654	6,86E-07	48,75	0,1807	1,60E-03	0,9984
4	0,10	D	654	4,13E-05	43,84	0,1834	2,00E-03	0,9980

Çizelge 5.7 Farklı seviyelerde algılanmış Boat için başarımlar ölçütleri

SEVİYE	KAT.	BİL.	ÇEK.	ÖOKH	ÖTİGO	EŞİK	PNH	PDA
1	0,20	Y	8523	7,31E-05	41,36	0,4926	2,65E-05	1,0000
1	0,20	D	8523	1,76E-04	37,54	0,4326	1,26E-05	1,0000
2	0,20	Y	8523	1,25E-04	39,04	0,5237	2,06E-06	1,0000
2	0,20	D	8523	1,89E-04	37,23	0,5270	2,90E-06	1,0000
3	0,20	Y	8523	1,93E-04	37,14	0,5512	1,88E-05	1,0000
3	0,20	D	8523	1,14E-04	38,50	0,5592	3,31E-06	1,0000
4	0,20	Y	8523	2,49E-04	36,03	0,6083	1,02E-04	0,9999
4	0,20	D	8523	1,53E-04	38,15	0,6118	1,50E-05	1,0000

Toplamsal damga algılama işlemi benzer şekilde ADD-AKD boyutunda her seviyede yatay ve düşey bileşenlerde benzerlik ölçümü yapılarak gerçekleştirilmiştir. Benzerlik ölçümü alınan damgalanması muhtemel görüntü $I_{BIW}(k,l)^*$ ile damga işaretinin $W(k,l)$ arasında yapılır. Damgalama eşik değeri; yatay ve düşey bileşenler için ayrı ayrı elde edilen benzerlik ölçümlerinin aritmetik ortalaması alınarak elde edilir. Ortalama benzerlik ölçümlerinin ortalama eşik değeri ile karşılaştırılmasından damganın hangi bileşende olduğuna karar

verilmiştir. Her seviyede yatay ve düşey bileşenlerde belirlenen damga sayılarının oranından damgalama seviyesine karar verilmiştir.

Çizelge 5.8 Farklı seviyelerde algılanmış Peppers için başarımlar ölçütleri

SEVİYE	KAT.	BİL.	ÇEK.	ÖOKH	ÖTİGO	EŞİK	PNH	PDA
1	0,20	Y	16	4,56E-05	43,41	0,0496	4,37E-04	0,9996
1	0,20	D	16	6,38E-05	41,95	0,0691	4,47E-04	0,9996
2	0,20	Y	16	8,13E-05	40,90	0,3571	9,70E-05	0,9999
2	0,20	D	16	1,17E-04	39,31	0,3897	2,49E-04	0,9998
3	0,10	Y	16	4,12E-05	43,85	0,1802	7,70E-04	0,9992
3	0,10	D	16	6,91E-05	41,60	0,1679	8,06E-04	0,9992
4	0,10	Y	16	3,25E-05	44,88	0,1849	1,90E-03	0,9981
4	0,10	D	16	1,19E-04	39,23	0,1815	2,20E-03	0,9978

5.2.5 ADD-AKD Tabanlı Damga Algılamada Karşılaştırmalı Sınama Test Sistemi Sonuçları

StirMark 3.1 karşılaştırmalı sınama test sistemi yardımıyla damgalanmış görüntü üzerinde [1 2 1 ; 2 4 2 ; 1 2 1] katsayılarını kullanan keskinleştirici süzgeçleme, 2x2, 3x3, 4x4 boyutlu Median süzgeçleme, ve 3x3 boyutlu Gauss süzgeçleme uygulanmıştır. Süzgeçlenmiş görüntülerden damganın varlığı her seviyede ve bileşende tespit edilmiştir.

İkinci aşamada damgalanmış görünürü üzerinde, kalite faktörü için 20, 25, 30, 35, 40, 50, 60, 70, 80, 90 değerleri kullanılarak JPEG sıkıştırma uygulanmıştır. Ayrıca FMLR(Frequency Mode Laplacian Removal) saldırısı ve rastlantısal geometrik dönüşüm uygulanmıştır. Bu saldırılar karşısında da yöntem her seviyede ve bileşende dayanıklıdır.

Üçüncü aşamada damgalanmış görüntü üzerinde, ± 2 , ± 1 , ± 0.75 , ± 0.5 , ± 0.25 , 5, 10, 15, 30, 45, 90 derecelik açı değerleri kullanılarak döndürme işlemi, döndürme ve kırpma işlemi, ayrıca döndürme, kırpma ve tekrar eski boyutuna ölçeklendirme işlemleri uygulanmıştır. Yöntem, bazı görüntüler için 15 derece ve altındaki açı değerleri için döndürme işlemine karşı dayanıklıdır. Yöntem tüm görüntüler için 5 derece ve altındaki açı değerleri için döndürme ve kırpma işleminde ve döndürme, kırpma ve tekrar eski boyutuna ölçeklendirme işleminde başarılıdır.

Çizelge 5.9’da farklı seviyede ve bileşende damgalanmış görüntüye StirMark 3.1 yoluyla

yapılan saldırılar sonunda yöntemin dayanıklılığını gösteren sonuçlar yer almaktadır. Çizelgedeki “1” değerleri damganın başarıyla algılandığını, “1/0” değerleri damganın bazı durumlarda algılandığını, “0” değerleri damganın algılanmadığı durumları göstermektedir. Şekil 5.8’deki görüntülerden damga başarılı bir şekilde algılanmıştır.

Çizelge 5.9 Saldırıya uğramış görüntülerden damganın algılanması

SALDIRI	LENNA	BABOON	BOAT	PEPPERS
keşkinleştirme	1	1	1	1
Median süzgeçleme	1	1	1	1
Gauss süzgeçleme	1	1	1	1
JPEG sıkıştırma	1	1	1	1
FLMR	1	1	1	1
rastlantısal geometrik dönüşüm	1	1	1	1
döndürme	1/0	1/0	1/0	1/0
döndürme ve kırpma	1/0	1/0	1/0	1/0
döndürme, kırpma ve ölçeklendirme	1/0	1/0	1/0	1/0
ölçeklendirme	1/0	1/0	1/0	1/0
simetrik ve asimetrik satır ve sütun çıkarma	1/0	1/0	1/0	1/0
simetrik ve asimetrik kesme	1/0	1/0	1/0	1/0
genel doğrusal geometrik dönüşüm	1/0	1/0	1/0	1/0
merkezlenmiş kırpma	0	0	0	0



Şekil 5.8 15 ° döndürülmüş Baboon ve -0,5 ° döndürülmüş ve ölçeklenmiş Peppers görüntüleri

5.2.6 MPEG-2 Video İşaretleri İçin Damgalama ve Damga Algılama Sonuçları

Literatürde yaygın olarak görüldüğü gibi sabit görüntüler üzerinde uygulanan ADD-AKD tabanlı sayısal damgalama yöntemi video işaretleri üzerinde de uygulanmıştır. MPEG Software Simulation Group tarafından bilimsel çalışmalarda kullanılmasına izin verilen MPEG-2 kod çözücü ve kodlayıcı kullanılarak MPEG-2 video işaretlerinin damgalanması gerçekleştirilmiştir. Benzetimlerde 2 Mbps ile kodlanmış Susi MPEG-2 video işareti kullanılmıştır. MPEG-2 kod çözücü ile video işareti YUV olarak bileşenlerine ayrılmaktadır. Y bileşenlerinden seçilen çerçeveler sabit görüntü gibi değerlendirilip damgalanmaktadır. Video işaretlerinin damgalanması sırasında, damga işaretinin üretildiği çekirdek değeri, her GOP'ta damganın eklendiği çerçeve, damganın eklendiği ADD bileşeni ve seviyesi bir damgalama anahtarı dosyasında saklanmıştır. Uygulama amaçına göre bu anahtar dosyasına ihtiyaç duyulabilir. Bizim yaptığımız uygulamalarda bu dosya kullanılmamıştır.

Kaynakta yapılan ve gerçel zamanlı olmayan uygulamalara ilişkin benzetimlerde; MPEG-2 iletim dizisi MPEG-2 kod çözücü ile bileşenlerine ayrıldıktan sonra damga Y bileşenlerindeki her GOP içerisinde I, P veya B çerçevelerinden birine eklenmiştir. Daha sonra MPEG-2 kodlayıcı kullanılarak damgalanmış çerçevelerin yer aldığı akış kodlanmıştır. Damga P ve B çerçevelerine eklendiğinde bu çerçevelerden kodlanan diğer çerçeveler üzerinde bozucu bir etki yaratmamaktadır. Sonuç olarak damga, kodlama hatası olarak değerlendirilip diğer çerçeveleri etkilememektedir.

Gerçel zamanlı olmayan damga algılamada; damgalanmış MPEG-2 iletim dizisi MPEG-2 kod çözücü ile bileşenlerine ayrıldıktan sonra damga, her GOP içerisinde I, P veya B çerçevelerinde aranır. Bu durumda damga başarılı bir şekilde algılanmıştır.

Gerçel zamanlı uygulamalara ilişkin benzetimlerde, kaynakta yapılan damgalama benzetimlerinde olduğu gibi MPEG-2 iletim dizisinden sadece I çerçevelerinin kodu çözülüp üzerinde sayısal damga eklenerek damgalama gerçekleştirilmiştir. MPEG-2 iletim dizisinin yeniden kodlanması sırasında, B ve P çerçevelerde referans olarak I_w çerçeveleri akışa yerleştirilmiştir. Pratikte kullanılan resim grubu uzunlukları için sayısal damgalamadan kaynaklanan hata oranı video işareti bozulmaya neden olmayacak kadar küçük olacak şekilde elde edilmiştir.

Gerçel zamanlı damga algılamada; damgalanmış MPEG-2 iletim dizisi MPEG-2 kod çözücü ile bileşenlerine ayrıldıktan sonra damga, her GOP içerisinde I çerçevelerinden başarıyla algılanmıştır.

5.2.7 MPEG-4 Video İşaretleri İçin Damgalama ve Damga Algılama Sonuçları

AKD-ADD tabanlı sayısal damgalama yöntemi MPEG-4 işaretlerine de uygulanmıştır. Fakat MPEG-2 video işaretleri için olan kod çözücü ve kodlayıcı MPEG-4 video işaretleri için elimizde yoktur. Bu nedenle I çerçeveleri damgalanmış MPEG-2 iletim dizisi H.264 AVC ve WM9 kodekleri kullanılarak MPEG-4 ve WM9 formatlarında video işaretleri elde edilmiştir. MPEG-4 olarak kodlanmış görüntü üzerinde de damgalamanın gözle görülür etkisi yoktur. Damgalanmış MPEG-2 video işaretinden MPEG-4 video işareti elde edilmesi sırasında damgada herhangi bir bozulma yada kaybolma meydana gelmemiştir. Yani MPEG-4 kodlayıcıların damgalama üzerinde etkisi yoktur. Ayrıca 2 Mbps ile kodlanmış MPEG-2 video işaretinden MPEG-4 görüntüler 2 Mbps, 1Mbps, 500 kbps, 250 kbps olarak kodlanmıştır. Damga farklı çözünürlükte kodlanmış MPEG-4 iletim dizisinin I çerçevelerinden başarıyla algılanmıştır. ADD-AKD tabanlı sayısal damgalama yönteminin en önemli getirilerinden biri de düşük bit oranlarında da damganın varlığını korumasıdır.

5.3 Sonuç ve Öneriler

AKD-ADD yönteminin damga algılama ve negatif hata başarımları hesaplama kolaylığı açısından toplamsal damgalamaya dayalı olarak verilmiştir. Yöntemin görüntü bağımlı damgalama başarımı toplamasal damgalama başarımından daha iyidir.

ADD-AKD yönteminin sabit görüntüler üzerindeki başarımı literatürde yer alan sadece ADD, sadece AKD veya ADD'ye kaskad frekans dönüşümü yöntemlerine göre fark edilmezlik ve dayanıklılık açısından daha başarılıdır. Bu yöntemde, iki dönüşümün ardışıl uygulanmasından dolayı işlem yükünde meydana gelen artış fark edilmezliğin ve damgalama dayanıklılığının artırılmasıyla tolere edilmektedir.

ADD-AKD yöntemi MPEG-2 iletim dizilerine uygulandığında iyi bir başarımla elde edilmiştir. Pratikte kullanılan resim grubu uzunlukları için ADD-AKD tabanlı sayısal damgalamadan kaynaklanan hata video işareti bozulmaya neden olmayacak kadar küçüktür. Ayrıca damga, kodlama hatası olarak değerlendirilip diğer çerçeveleri etkilememektedir.

Bu yöntemin farklılığı düşük bit oranıyla kodlanmış MPEG-4 video işaretlerinin damgalanmasında ortaya çıkmaktadır. Düşük bit oranıyla damgalanan video işaretlerinde damgalama hatası etkisi oldukça azdır. 250 kbps olarak damgalanmış MPEG-4 görüntüde dahi damga algılanabilmiştir.

Ayrıca yöntemin teorik olarak video kaydedici cihazlarda kullanılacağı düşünüldüğünde gerçel zamanlı uygulamada damgalama sırasında işlem yükünü azaltmış olması önemlidir. ADD-AKD tabanlı sayısal damgalama yönteminde görüntü üzerindeki bozulmanın aşırı olarak arttığı durumlarda damga algılanamamaktadır. Bu tür bozulmaya uğramış görüntülerin bir video dizisinde yer alması anlamlı olmamaktadır. Yöntemin başarımlı performansının uygulama alanı göz önünde tutulduğunda yeterli olduğu sonucuna varılmıştır.

ADD-AKD tabanlı sayısal damgalama yöntemi literatürde var olan damgalama yöntemlerinden farklı olarak, ADD'ye dayalı yapısı dolayısıyla JPEG2000 formatında sıkıştırılacak görüntüler ve MPEG- 4 veya Dirac formatında kodlanacak video işaretleri için teorik olarak daha uygun bir damgalama yöntemidir. Bu durum bilimsel olarak tartışmaya açılmıştır.

KAYNAKLAR

- Akansu, A. N. ve Haddad, R.A.(1992) “ Multiresolution Signal Decomposition”, Academic Press, USA, 1992.
- Barni, M., Bartolini, F, Cappellini, V., Lippi, A. and Piva, A. (1999) “A DWT-Based Technique for Spatio-Frequency Masking of Digital Signatures,” in Proc. SPIE/IS&T Int. Conf. Security and Watermarking of Multimedia Contents, vol. 3657, pp. 31-39, San Jose, CA, Jan. 25-27, 1999.
- Bender, W., Gruhl, D. ve Morimoto, N. (1996) “Techniques for data hiding,” IBM Syst. J., vol. 35, nos. 3-4, pp. 313-336, 1996.
- Boney, L., Tewfik, A. ve Hamdy, K. (1996) “Digital watermarks for audio signals,” in IEEE Proc. Multimedia, pp. 473-480, 1996.
- Brassil, J., Low, S., Maxemchuk, N. ve O’Gorman L. (1994) “Electronic marking and identification techniques to discourage document copying,” in Proc. Infocom’94, pp. 1278-1287, 1994.
- Brassil, J., Low, S., Maxemchuk, N. ve O’Gorman L (1995) “Electronic marking and identification techniques to discourage document copying,” IEEE J. Select. Areas Commun., vol. 13, pp. 1495-1504, 1995.
- Brassil, J., Low, S. ve Maxemchuk, N. L (1999), “Copyright protection for the electronic distribution of text documents,” Proc. IEEE, no. 7, pp. 1181-1196, July 1999.
- Boland, F.M., O’Ruanaidh, J.J.K ve Dautzenberg, C. (1995) “Watermarking Digital Images for Copyright Protection,” in IEEE Int. Conf. Image Proc. and its Applications, pp. 321-326, 1995.
- Bors A.G. ve Pitas, I. (1996) “Image Watermarking Using DCT Domain Constraints,” in IEEE Proc. Int. Conf. on Image Processing, Lausanne, Switzerland, vol. 3, pp. 231-234, Sept. 1996.
- Cox, I.J., Kilian, J., Leighton, T., ve Shamoon, T. (1995) “Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia,” NEC Research Institute, Princeton, NJ, Technical Report 95-10, 1995.
- Cox, I.J., Kilian, J., Leighton, T., ve Shamoon, T. (1997) , “Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia,” IEEE Trans. Image Processing, vol. 6, no: 12, pp. 1673-1687, Dec. 1997.
- Daubechies, I. (1990) “The Wavelet Transform, Time-Frequency Localization and Signal Analysis,” IEEE Transaction Information Theory, vol. 36, pp. 961-1005, Sept. 1990.
- Emek, S., Pazarcı, M., Yücel, M. (2004) “ Sabit Görüntüler için AKD-ADD Tabanlı Sayısal Damgalama Yöntemi”, SIU 2004, pp 34-36, Kuşadası, İzmir, Tükiye, Nisan 2004.
- Emek, S., Pazarcı M. (2004) “ Video İşaretleri için AKD-ADD Tabanlı Sayısal Damgalama Yöntemi”, ELECO 2004, pp 83-86, Bursa, Türkiye, Aralık 2004.

Emek, S., Yücel, M. (2005) "A DWT-DCT Based Digital Watermarking Scheme for Mpeg-2 Video Streams" INISTA 2005 International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications pp 5- 8, İstanbul, Türkiye, June 2005.

Emek, S., Pazarcı, M. (2005) "A Cascade DWT-DCT Based Digital Watermarking Scheme" 13th European Signal Processing Conference 2005 (EUPISCO'05), Antalya, Türkiye, October 2005.

Fotopoulos, V., Skodras, A.N. (2000) "A Subband DCT Approach to Image Watermarking", 10th European Signal Processing Conference 2000 (EUPISCO'00), Tampere, Finland, Sept, 2000.

Fridrich, I. ve Goljan, M. (1999), "Comparing Robustness of Watermarking Techniques", Proc. Electronic Imaging'99, The International Society for Optical Engineering, Security, and Watermarking of Multimedia Contents, vol. 3657, pp. 214-225, San Jose CA, Jan 25-25, 1999.

Ganic, E. ve Eskicioglu, A. (2004) "Secure DWT-SVD Domain Image Watermarking: Embedding Data in All Frequencies," Proceedings of the ACM Multimedia and Security Workshop 2004, pp. 166-174, Magdeburg, Germany, September 20-21, 2004.

Huang, J., Shi, Y.Q. ve Shi, Y., (2000) Embedding Image Watermarks in DC Components. IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technol. vol. 10 (6), pp. 974-979, 2000.

Hernández, J.R., Amado, M., ve Pérez-Gonzalez, F. (2000) "DCT-Domain Watermarking Techniques for Still Images: Detector Performance Analysis and a New Structure," IEEE Trans. Image Processing, vol. 9, pp. 55-68, Jan. 2000.

Herrigel, A., Petersen, H., Ruanaidh, J.Ó., Pun, T., ve Shelby, P. (1998) "Copyright Techniques for Digital Images Based on Asymmetric Cryptographic Techniques," Workshop on Information Hiding, Portland, Oregon, USA, Apr. 1998.

Herrigel, A., Ruanaidh, J.Ó., Petersen, H., Pereira, S., ve Pun, T. (1998) "Secure Copyright Protection Techniques for Digital Images," in Information Hiding (Lecture Notes in Computer Science, vol. 1525), D. Aucsmith, Ed. Berlin, Germany: Springer, , pp. 169-190, 1998.

International Federation of the Phonographic Industry (1997), "Embedded Signalling Systems Issue 1.0" Request for Proposal, June 1997.

Jain A.K. (1989), "Fundamentals of Digital Image Processing", Prentice-Hall Inc. NJ, USA, 1989.

Jellinek, B. (2000) "Invisible Watermarking of Digital Images for Copyright Protection. Master's Thesis, Department of Scientific Computing, University of Salzburg, Austria, January 2000.

Kalker, T., Linnartz, J-P., Depovere, G. ve Maes, M. (1998) "On the reliability of detecting electronic watermarks in digital images," in Proc. IX European Signal Processing Conf., vol.

1, pp. 13-16, Island of Rhodes, Greece, Sept. 8-11, 1998.

Kang, X., Huang, J., Shi, Y.Q., ve Lin, Y. (2003) "A DWT-DFT Composite Watermarking Scheme Robust to Both Affine Transform and JPEG Compression, " IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., vol. 13, pp. 776--786, Aug. 2003.

Kay, S. (1989) "Asymptotically Optimal Detection in Incompletely Characterized Non-Gaussian Noise", IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, vol. 37, no:5, pp. 627-633, May 1989.

Kingsbury, Nick, "Approximation Formula for the Gaussian Error Integral, $Q(x)$ ", <http://cnx.rice.edu/content/ml1067/latest>

Koch E. ve Zhao J. (1995) "Towards Robust and Hidden Image Copyright Labeling," presented at Nonlinear Signal Processing Workshop, Thessaloniki, Greece, 1995.

Kundur D. ve Hatzinakos, D. (1997) "A Robust Digital Image Watermarking Scheme Using Wavelet-Based Fusion," in Proc. ICIP 97, IEEE Int. Conf. Image Processing, pp. 544-547, Santa Barbara, CA, Oct. 1997.

Kutter, M., Jordan, F. ve Bossen, F. (1998) "Digital Watermarking of Color Images using Amplitude Modulation," J. Electron. Imaging, vol. 7, no. 2, pp. 326-332, Apr. 1998.

Kutter, M. ve Petitcolas, F.A.P. (1999) "A fair benchmark for image watermarking systems," in Proc. Electronic Imaging '99, Security and Watermarking of Multimedia Contents, vol 3657, pp. 226-239, San Jose, CA, Jan. 25-27, 1999.

Kutter, M., Voloshynovskiy, S., ve Herrigel, A. (2000) "The Watermark Copy Attack", Electronic Imaging 2000, Security and Watermarking of Multimedia Content II, 2000.

Lee, S.J. ve Jung, S.H. (2001) "A Survey of Watermarking Techniques Applied to Multimedia", Industrial Electronics, 2001. Proceedings. ISIE 2001. IEEE International Symposium on , vol: 1 , pp 272 –277, 2001.

Massey, J.L. (1992) "Contemporary cryptology: An introduction," in Contemporary Cryptology: The Science of Information Integrity, G.J. Simmons, Ed. New York: IEEE Press, pp. 3-39, 1992.

Nikoliadis, A. ve Pitas, I. (2002) "Optimal Detector Structure for DCT and Subband Domain Watermarking", in Image Processing Proceedings, vol.3, pp. 465-468, 2002.

Onishi, J., Matsui, K. (1997) "A Method of Watermarking with Multiresolution Analysis and PN Sequence", Trans. Of IEICE vol. J80, no:11, pp. 3020-3028, 1997.

Ruanaidh, J.O., Dowling, W.J. ve Boland, F.M. (1996) "Watermarking Digital Images for Copyright Protection," Proc. Inst. Elec. Eng. Vision, Image, and Signal Processing, vol. 143, no. 4, pp. 250-256, Aug. 1996.

Ruanaidh, J.O., Dowling, W.J. ve Boland, F.M. (1996) "Phase Watermarking of Digital Images," in Proc. IEEE Int. Conf. Image Processing (ICIP), pp. 239-242, 1996.

- Pereira, S., Ruanaidh, J.O., Deguillaume, F., Csurka, G. ve Pun, T. (1999) "Template Based Recovery of Fourier-Based Watermarks Using Log-Polar and Log-Log Maps," in Proc. IEEE Multimedia Systems 99, Int. Conf. Multimedia Computing and Systems, Florence, Italy, June 7-11, 1999.
- Piva, A., Barni, M., Bartolini, F. ve Cappellini, V. (1997) "DCT-based Watermarking Recovering without Resorting to the Uncorrupted Original Image," in Proc. IEEE Int. Conf. Image Processing, vol. I, pp. 520-523, Santa Barbara, CA, 1997.
- Pitas, I. (1996) "A Method for Signature Casting on Digital Images," in IEEE Proc. Int. Conf. Image Processing, vol. 3, pp. 215-218, Lausanne, Switzerland, Sept. 1996.
- Podilchuk C.I., ve Zeng, W. (1998) "Image-adaptive Watermarking using Visual Models," IEEE J. Select. Areas Commun., vol. 16, pp. 525-539, May 1998.
- Podilchuk, C.I. ve Delp, E.J. (2001) "Digital Watermarking: Algorithms and Applications", IEEE Signal Processing Magazine, pp 33-46, July 2001.
- Sharifi, K. ve Leon-Garcia, A. (1995) " Estimation of Shape Parameter for Generalized Gaussian Distributions in Subband Decomposition of Video", IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, vol. 5, no:1, pp. 52-56, Feb 1995.
- Schyndel, R.G., Tirkel, A. ve Osborne, C. (1994) "A Digital Watermark," in Proc. IEEE Int. Conf. Image Processing (ICIP), pp. 86-90, 1994.
- Schyndel R.G. ve Osborne, C. (1993) "A Two-Dimensional Watermark," in Proc. DICTA, pp. 378-383, 1993.
- Swanson, M.D., Zhu, B., Tewfik, A.H., (1996) "Transparent Robust Image Watermarking," in IEEE Proc. Int. Conf. Image Processing, Lausanne, Switzerland, pp. 211-214, 1996.
- Swanson, M., Zhu, B., Tewfik, A. ve Boney, L. (1997) "Robust Audio Watermarking Using Perceptual Masking," Signal Process., Special Issue on Watermarking, pp. 337-355, 1997.
- Swanson, M.D., Kobayashi, M. ve Tewfik, A.H. (1998) "Multimedia Data-Embedding and Watermarking Technologies," Proc. IEEE, vol. 86, pp. 1064-1087, June 1998.
- Schyndel R.G. ve Osborne, C. (1993) "A two-dimensional watermark," in Proc. DICTA, pp. 378-383, 1993.
- Tao, P. ve Eskicioğlu, A. M. (2004) "A Robust Multiple Watermarking Scheme in the DWT Domain," Optics East 2004 Symposium, Internet Multimedia Management Systems V Conference, Philadelphia, PA, October 25-28, 2004.
- Xia, X.G., Boncelet, C.G. ve Arce G.R. (1997) "A Multiresolution Watermark for Digital Images," in Proc. ICIP 97, IEEE Int. Conf. Image Processing, pp. 548-551, Santa Barbara, CA, Oct. 1997.
- Voloshynovskiy, S., Deguillaume, F. ve Pun, T. (2000) "Content Adaptive Watermarking Based on a Stochastic Multiresolution Image Modeling," in 10th European Signal Processing

Conference (EUPISCO'00), Tampere, Finland, Sept, 2005.

Walton, S. (1995) "Information authentication for a slippery new age," Dr. Dobbs J., vol. 20, no. 4, pp. 18-26, Apr. 1995.

Wolfgang, R.B. ve Delp, E.J. (1996) "A watermark for digital images," in IEEE Proc. Int. Conf. Image Processing, vol. 3, pp. 219-222, Lausanne, Switzerland, Sept. 1996

Wolfgang R.B. ve Delp, E.J. (1999) "Fragile watermarking using the vw2d watermark," in Proc. SPIE, Security and Watermarking of Multimedia Contents, vol. 3657, pp. 204-213, San Jose, CA, Jan. 1999.

Zhu, W., Xiong, Z., ve Zhang, Y. Q. (1999) "Multiresolution Watermarking for Images and Video," IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, vol. 9, no. 4, pp. 545-- 550, June 1999.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Doğum tarihi	15.08.1973
Doğum yeri	Havran/Balıkesir

Eğitim

Lise	1987-1990	Maltepe Orhangazi Lisesi
Lisans	1990-1994	Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1994-1997	Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği, Haberleşme Anabilim Dalı
Doktora	1997-2006	Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği, Haberleşme Anabilim Dalı

Çalıştığı Kurumlar

Araştırma Grv.	1995-2000	Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
Sistem Mühendisi	2000-2006	Digital Platform İl.Hiz.A.Ş. STB&Koşullu Erişim .