



**AYRIK KOSİNÜS DÖNÜŞÜMÜ KULLANILARAK TASARLANAN
DİJİTAL GÖRÜNTÜ DAMGALAMA TEKNİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Almula Büşra ŞAHİN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
BİLGİ GÜVENLİĞİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ARALIK 2021

ETİK BEYAN

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

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Almula Büşra ŞAHİN

04 / 01 / 2022

AYRIK KOSİNÜS DÖNÜŞÜMÜ KULLANILARAK TASARLANAN DİJİTAL GÖRÜNTÜ DAMGALAMA TEKNİKLERİNİN İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Almula Büşra ŞAHİN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Aralık 2021

ÖZET

Bu çalışmada Ayrik Kosinüs Dönüşümü (AKD) kullanılarak tasarlanan dijital görüntü damgalama tekniklerinin incelenmesi hedefiyle 2010 yılına kadarki çalışmalar üzerinden literatür tarama yapılmıştır. Dijital damgalama yönteminin genel özellikleri, frekans alan ve uzamsal alan teknikleri ve AKD hakkında akademik bilgiler sunulmuştur. Yapılan çalışmalar AKD'nün uygulama yöntemi, damgalama tekniğinin özellikleri, damga çıkartma yöntemi, dayanıklılık ve kullanım alanı ile sınıflandırılmıştır. İnceleme sonucunda farklı yöntemler takip edilerek tasarlanan teknikler sınıflandırma özelliklerine göre farklılıklar göstermiştir. Elde edilen bu verilere göre AKD, uzamsal alanda yapılan dönüşümlerden Tekli Değer Ayrışımı ve Arnold Dönüşümü kullanılarak Hash fonksiyonu ile elde edilen gizli anahtarla geri dönüşütürülebilir bir dijital görüntü damgalama çalışması yapılmış ve saldırı analizleriyle incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda AKD'nin farklı dönüşümlerle birlikte kullanılmasının dijital görüntü damgalama tekniğinin dayanıklılığını arttırdığı tespit edilmiştir.

Bilim Kodu : 92403
Anahtar Kelimeler : Dijital Damgalama; Ayrik Kosinüs Dönüşümü; Filigran; Frekans Dönüşümü; Görüntü Damgalama
Sayfa Adedi : 51
Danışman : Prof. Dr. İnan GÜLER

A SURVEY OF DIGITAL IMAGE WATERMARKING TECHNIQUES BASED ON DISCRETE COSINE TRANSFORM

(M. Sc. Thesis)

Almula Büşra ŞAHİN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

December 2021

ABSTRACT

In this study, a literature review is presented to examine the Discrete Cosine Transform (DCT) based digital image watermarking techniques since 2010. General features of the digital watermarking, frequency domain & spatial domain watermarking techniques, DCT and various watermarking researches with DCT in last decade were stated. The studies were classified according to the application methods of DCT, features of the watermarking technique, watermark extraction method, robustness, and usage area. Results have shown that DCT has increased the robustness of watermarking by performing with a union of several methods from simple to complex. In this case, the main purpose of this study can be considered as making a compilation of DCT techniques and preparing an information note that can be a reference for those working in this field. For the future studies to improve watermarking with DCT, a combination between machine learning and optimization techniques would be preferred. According to the obtained and collected knowhow, DCT was combined with Single Value Decomposition and Arnold Transformation which are transformations made in the spatial domain and a reversible digital image watermarking study was carried out with a secret key that was generated from Hash function. Then watermark techniques was examined with attack analysis. As a result of the study, it has been determined that the use of DCT with different transformations increases the robustness of the digital image watermarking.

Science Code : 92403

Key Words : Digital watermarking; Discrete Cosine Transform; Watermark;
Frequency Domain; Image Watermarking

Page Number : 51

Supervisor : Prof. Dr. İnan GÜLER

TEŞEKKÜR

Gazi Üniversitesindeki eğitimim sırasında kendimi geliştirebilmek için birçok fırsatım oldu. Bu tez çalışması, Ayrık Kosinüs Dönüşümü ile dijital görüntü damgalama konusu hakkında kapsamlı bir bilgi sağlamıştır.

Öncelikle danışmanım Prof. Dr. İnan Güler'e kıymetli destekleri ve öğrettiği bilgiler için teşekkür etmek istiyorum. Sadece tez projesi sırasında değil, yıl boyunca katıldığım derslerinde de teşvik edici tavsiyeleri ile bana destek oldu. Onun sayesinde çok değerli hayat dersleri öğrendim.

Eğitim hayatım boyunca beni destekleyen ve yüreklendiren tavsiyeleri için başta babam Prof. Dr. Hacı Mehmet Şahin olmak üzere aileme şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. GÖRÜNTÜ DAMGALAMA TEKNİKLERİ.....	3
2.1. Uzamsal Alan Damgalama Teknikleri	5
2.2. Frekans Alanı Damgalama Teknikleri	8
2.2.1. Ayırık kosinüs dönüşümü	10
2.3. Damgalama Tekniğinin Performans ve Saldırı Analizi	12
3. AYRIK KOSİNÜS DÖNÜŞÜMÜ İLE LİTERATÜRDE YAPILAN DAMGALAMA ÇALIŞMALARI	15
3.1. Ayırık Kosinüs Dönüşümünün Uzamsal Alan Dönüşümleri ile Birleştirilmesi ...	15
3.1.1. Tekli değer ayrışımı ve ayırık kosinüs dönüşümünün birlikte uygulanması	15
3.1.2. Temel bileşen analizi ve ayırık kosinüs dönüşümünün birlikte uygulanması	16
3.1.3. Hash fonksiyonu ve ayırık kosinüs dönüşümünün birlikte uygulanması ..	17
3.1.4. BIT tabanlı ayrıştırmaların ve ayırık kosinüs dönüşümünün birlikte uygulanması	17
3.2. Ayırık Kosinüs Dönüşümünün Ayırık Dalgacık Dönüşümü ile Birleştirilmesi	18

Sayfa

3.3. Ayrik Kosinüs Dönüşümünün Kompleks Cebir ve Makine Öğrenmesi ile Birleştirilmesi	20
3.4. Ayrik Konisüs Dönüşümü ile Yapılan Sıfır Damgalama Teknikleri	23
4. AYRIK KONİSÜS DÖNÜŞÜMÜ İLE YAPILAN DAMGALAMA ÇALIŞMASI	25
4.1. Damgalama İşleminin Metodu	25
4.2. Damgalama İşleminin Matlab Uygulaması	28
5. DEĞERLENDİRME	31
5.1. Literatür Taraması Değerlendirmesi	31
5.2. Çalışmanın Değerlendirmesi	34
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	39
KAYNAKLAR	41
EKLER	47
EK-1. Matlab kodu	48
ÖZGEÇMİŞ	51

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.1. Literatür taraması sonuçları.....	32
Çizelge 5.2. Çalışmanın saldırı analizi.....	35



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Filigran algoritması.....	1
Şekil 2.1. Görüntü damgalama tekniklerinin sınıflandırılması.....	5
Şekil 2.2. Uzamsal alanda damgalama tekniği	6
Şekil 2.3. 3-ölçekli ADD	9
Şekil 2.4. 8x8 AKD.....	11
Şekil 2.5. Frekans alanında damgalama.....	12
Şekil 2.6. Frekans alanında damga çıkartma	12
Şekil 2.7. Saldırı türleri.....	14
Şekil 4.1. Hessenberg matrisi.....	26
Şekil 4.2. Damgalama İşlemi.....	27
Şekil 4.3. Damga çıkarma.....	28

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

db

Desibel

Kısaltmalar

Açıklamalar

ADD

Ayrık Dalgacık Dönüşümü

AFD

Ayrık Fourier Dönüşümü

AKD

Ayrık Kosinüs Dönüşümü

ÇAMÖ

Çekirdek Aşırı Makine Öğrenmesi

DD

Diferansiyel Değerlendirme

EÖB

En Önemsiz Bit

İGS

İnsan Görme Sistemi

PSO

Parçacık Sürü Optimizasyonu

TBA

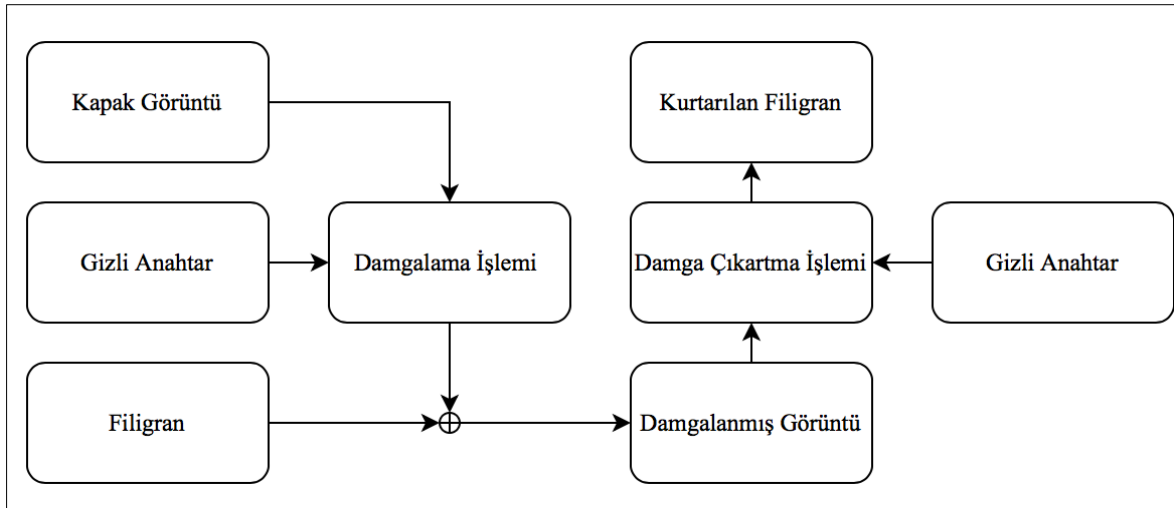
Temel Bileşen Analizi

TDA

Temel Değer Analizi

1. GİRİŞ

Günümüzde ilerleyen teknoloji ile görüntü, ses ve video üretmek, bu verileri yayınlamak ve verilere ulaşmak her geçen gün daha da kolay olmaktadır. Erişimin bu denli kolay olması sanatta, reklamcılıkta ve hatta medikal alanlarda verinin başkasının eline geçmesi ve izinsiz kullanılması sorunlarını ortaya çıkarmaktadır. Telif hakkı ve bilgi güvenliğini korumak amacıyla algısal bozulma oluşturmada dijital verilere farklı koruma yöntemleri uygulanmaktadır [1]. Bu yöntemlerden biri geçmiş 1200'lü yıllara dayanan damgalama tekniğidir, başlangıçta para gibi değerli kağıtlar üzerinde orijinalliği korumak için kullanılan kırılabilir bir yöntemken günümüzde dijital veriler için de uygulanmaktadır [2]. Dijital damgalama ses, görüntü ve video gibi tüm dijital veriler üzerinde uygulanabilmektedir. Görüntü damgalama tekniğindeki amaç, veriye ait bir bilgiyi yani filigranı kapak görüntü üzerine fark edilmeyecek şekilde gömmektir. Şekil 1.1'de genel damgalama algoritması verilmiştir. Damgalamada kullanılan temel elemanlar filigranın saklandığı kapak görüntü, damga çıkarma işlemi sırasında kullanılan gizli anahtar ve filigrandır. Bu elemanlar özel bir yöntemle birleştirilerek damgalama işlemi gerçekleştirilir. Yine gizli anahtar ve özel bir yöntem kullanılarak kurtarılmış filigran elde edilir.



Şekil 1.1. Filigran algoritması

Genel uygulaması bu şekilde olan damgalama yöntemi sayesinde mülkiyet kanıtı, kimlik doğrulama, yetkisiz kopyalamanın önlenmesi ve belge doğruluğu sağlanabilmektedir [3-5]. Tekniğin başarısı ve performansı, depolama kapasitesi, sağlamlık ve kapak görüntüsü

üzerindeki etkisi ile ölçülür. Önerilen damgalama tekniği bilgi güvenliğinin üç amacı olan gizlilik, bütünlük ve kullanılabilirliği sağlaması gerektiğinden; frekans alanı dönüşümleri, görüntüler için daha sık tercih edilmektedir. Frekans alanı dönüştürme tekniklerinden biri, bir filigranın bir kapak görüntüsüne gömülmesini sağlayan Ayırık Kosinüs Dönüşümü (AKD)'dir [6,7]. Farklı yöntemlerin AKD ile birleştirilmesiyle daha kullanışlı teknikler üretilir. Bu yöntemler, filigranın türüne, sağlamlığına, fark edilebilirliğine, yöntemin karmaşıklığına ve işlemin kapasitesine göre ayrılmaktadır. Bu varyasyonun bir avantajı olarak, AKD, görüntü filigranını değerlendirmek için iyileştirici bir etkiye sahip olacaktır. Bu nedenle AKD'ye dayalı damgalama, araştırılması gereken önemli bir yöntemdir. Bu çalışmada, AKD ile geliştirilen ve birleştirilen çeşitli görüntü damgalama teknikleri, özelliklerine göre incelenmiş ve analiz edilmiştir. Yapılan literatür taraması sonucunda elde edilen kazanımlarla bir damgalama tekniği uygulanıp saldırı analizleri ile dayanıklılığı kontrol edilmiştir. Bu çalışma dijital görüntü damgalama teknikleri, kullanılan yöntemler, literatürde yapılan çalışmalar, önerilen yeni yöntem ve elde edilen sonuçları içermektedir.

2. GÖRÜNTÜ DAMGALAMA TEKNİKLERİ

Dijital damgalama, gerçek görüntünün orijinalliğini ve bütünlüğünü korumak için tanımlanan filigranı gömmek için kullanılan bir stenografi yöntemidir. Görüntü damgalamanın ana kullanım alanları mülkiyet tasdiki, kopya önleme ve kontrol, elektronik reklamcılık, adli konular, medya arşivleme, ağ yayıncılığı ve dijital kütüphanedir [1]. Filigran önemli bilgiyi taşıyan ana bileşenidir, bu nedenle tersine çevrilebilir bir yöntem olmalıdır.

Görüntü damgalama teknikleri sınıflandırırken ilk bakılan özellik filigranın fark edilir olup olmamasıdır. Telif hakkı gibi amaçlara hizmet etmesi için fark edilebilir filigran logo ya da simge olarak uygulanır. Ana üreticinin haklarını korumak için fark edilebilir filigranın kolay silinebilir olmaması gerekmektedir. Buna karşın fark edilmez filigran insan gözünün algılayamayacağı şekilde kapak görüntüye uygulanmaktadır. Bu uygulamadaki temel hedef, filigranın erişim izni olmayan kişilerce kolay çözülmemesidir [8].

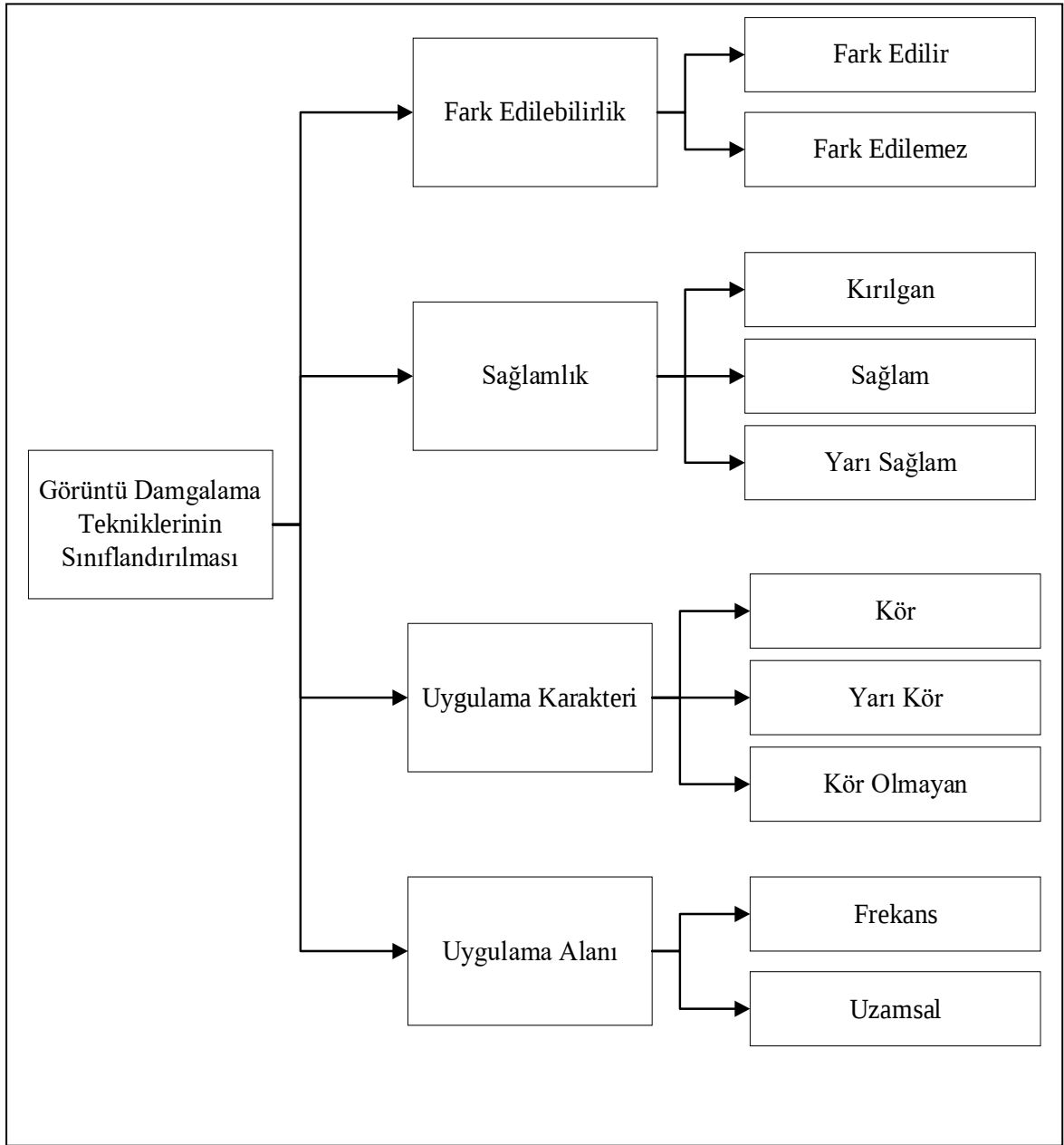
Genel olarak filigranı minimum bozulma ile kurtarmak bir hedeftir fakat sınıflandırma olarak kırılğan, sağlam ve yarı kırılğan olarak üçe ayrılmaktadır. Sağlamlık hedefi için filigranın şifreleme, şifre çözme, geometrik manipülasyon ve sıkıştırmadan sonra sağlam kalması gerekirken,[9] kırılğanlık hedefi metodolojinin amacına göre herhangi bir değişiklikten sonra önemli ölçüde yok olması ya da deforme olması gerekmektedir. Kırılğan filigran içeriğin bütünlüğünü korumak için kimlik doğrulama hedefli uygulamalarda kullanılmaktadır. Ayrıca görüntüdeki kasıtlı manipülasyonları tespit etmek amacıyla kullanılır. Sağlam filigran genellikle telif hakkı uygulamalarında kullanılır. Sağlam damgalama yönteminde, kapak görüntüsüne zarar vermeden filigran eklenmiş görüntüden filigranı değiştirmek veya kaldırmak mümkün değildir [10]. Bu iki filigran türünün arasında kalmış bir de yarı kırılğan damga yöntemi bulunmaktadır. Yarı kırılğan filigrandaki temel amaç, filigranın sadece izin verilen oynamalara karşı sağlam kalıp diğer tüm saldırılarda bozulmasıdır [8]. Ek olarak literatürde, sağlam ve kırılğan filigran tekniklerini birlikte kullanarak bütünlük ve telif hakkı koruması aynı anda sağlanabilmektedir [1,2].

Damgalama işleminin sınıflandırılması için kullanılan bir diğer yöntem, damgalama

uygulama karakteridir. Uygulama karakteri kör, yarı kör ve kör olmayan olarak tanımlanabilir. Açık (genel) damgalama olarak da bilinen kör damgalamada, filigranı tekrar ortaya çıkarmak için yalnızca gizli anahtarı kullanır. Sadece anahtar kullanıldığı için uygulaması zorlayıcı bir yöntemdir. Yarı kör filigranda ise temel amaç görüntüde filigranın olup olmadığını tespit etmektir. Orijinal görüntü gerektirmedikinden, telif hakkı denetimi gibi uygulamalarda sıklıkla kullanılarak korsan kopyanın asıl alıcısını belirlemeyi amaçlar. Yarı kör ve kör damgalamaya karşın özel damgalama olarak da bilinen kör olmayan damgalama için filigranlı görüntüye ek olarak filigranı tekrar elde etmek için orijinal kapak görüntü gereklidir [12]. Filigranın tespit edildiği çoğu sistemin orijinal görüntüye erişimi olmadığından kör damgalama metotları daha çok tercih edilmektedir [8].

Filigran uygulama yöntemleri filigranın sınıflandırılmasına ve uygulama amacına göre değişirken, kırılğan damgalamalar hariç diğer tüm damgalama tekniklerinde temel amaç sağlamlıktır. Görüntü damgalama hem uzamsal alanda hem de frekans alanında uygulanabilir. Ancak uygulama alanına bağlı olarak sağlamlık ve fark edilmezlik özellikleri ciddi oranda farklılık göstermektedir. İşlenen görüntü üzerinde gözle görülür değişiklikler oluşturması, saklanan bilgiye zarar vermenin kolay olması, kapasitesinin düşük olması ve sağlamlığının daha az olması nedeniyle uzamsal alanlardaki damgalama teknikleri görsel sinyaller için daha az tercih edilen yöntemlerdir. Öte yandan, frekans alanındaki damgalama teknikleri, sağlamlık ve fark edilmezlik açısından güçlü yöntemlerdir [13].

Tüm bu özellikler değerlendirilerek damgalama yönteminin sınıflandırılması fark edilebilirlik, sağlamlık, uygulama karakteri ve uygulama alanı olarak yapılmaktadır. Şekil 2.1’de görüntü damgalama tekniklerinin sınıflandırması bu doğrultuda verilmiştir [14].

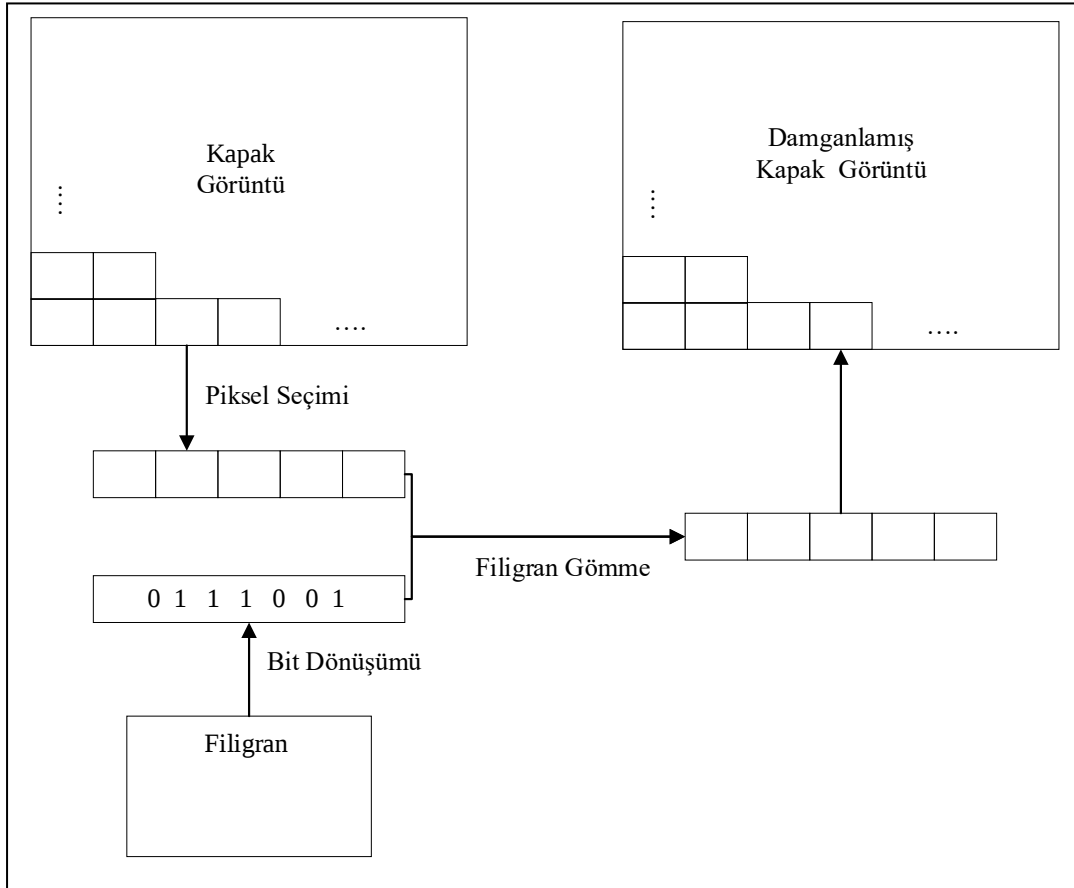


Şekil 2.1. Görüntü damgalama tekniklerinin sınıflandırılması

2.1. Uzamsal Alan Damgalama Teknikleri

Uzamsal alanda yapılan görüntü damgalama tekniklerinde görüntünün pikselleri işlenerek, bir yalancı rastgele sayı dizisi yani gürültü örüntüsü üretilerek görüntünün piksellerine gömülür. Örüntü $\{-1, 0, 1\}$ gibi tam sayılardan oluşur. Uzamsal alanda yapılan damgalama teknikleri gürültüye maruz kalma ve oynama yapılmadığı sürece hızlı, kolay ve etkiliyken kırpma gibi saldırılara karşı güçsüzdür [2]. Filigran için alan kısıtı ve görünen alanda yapılan değişiklikler sebebiyle uzamsal alanda yapılan damgalama teknikleri kapasite,

görünürlük ve sağlamlık bakımından zorlayıcı problemler içerir [15]. Uzamsal alanda yapılan damgalama tekniği genel olarak kapak görüntünün piksellerine ayrılıp, genellikle bit uzayına dönüştürülmüş filigranın bir algoritma yardımıyla seçilen piksellere gömülmesi ile uygulanır. Şekil 2.2’de uzamsal alanda yapılan damgalama tekniği gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Uzamsal alanda damgalama tekniği [8]

En bilindik uzamsal alan damgalama teknikleri En Önemsiz Bit (EÖB) yöntemi, Tekli Değer Ayrışımı (TDA), Yama İşli Damgalama ve Arnold Dönüşümü yöntemidir. EÖB yönteminde görüntünün en önemsiz bilgisi filigran ile değiştirilerek 8-bitlik gri ölçekli görüntüde anlaşılmayacak bir damgalama oluşturulur [15]. EÖB tekniği gürültüye karşı dayanıksızdır [16].

TDA yönteminde ise bir dikdörtgensel matris 3 farklı basit matrise ayrıştırılır. Bu ayrışma sonucu sol öz vektör, öz değer ve sağ öz vektör oluşur. TDA formül (2.1)’de belirtilmiştir [17].

$$A=USV^T \quad (2.1)$$

A; $M \times N$ matrisi, U ve V; ortonormal matrisleri ve S A'nın tekil değerlerinden oluşan diyagonal matrisi tanımlamaktadır [14]. Öz değerler üzerinde yapılan ufak değişiklikler orijinal görüntüde büyük etkilere sebep olmayacağından filigranlar öz değerlere uygulanır.

TDA'ya ile benzer kullanımı sahip bir diğer uzamsal alan dönüşümü ise Temel Bileşen Analizi'dir (TBA). TBA bir veriyi lineer kombinasyonları ile farklı bir koordinat sistemine dönüştürür. TBA formül (2.2)'de belirtilmiştir.

$$u(n) = T^T * v(n) \quad (2.2)$$

Formülde $v(n)$ dönüşüm uygulanacak olan veri setini, T^T farklı lineer kombinasyonları ve $u(n)$ yeni koordinat sistemini temsil etmektedir [18].

Yama İşli Damgalama tekniğinde, bir dizi rastgele piksel seçilir, kapak görüntünün bazı noktalarının parlaklıkları 1 seviye artırılırken bazı noktaların parlaklıkları bir seviye azaltılarak artık desen kodlaması yapılmış olur [16].

Uzamsal alanda yapılan damgalama teknikleri gürültü görme ve oynama yapılmadığı sürece hızlı, kolay ve etkilidir ancak kırpma gibi işlemlere karşı güçsüzdür [2]. Özellikle bu damgala teknikleri kapasite, görünürlük ve sağlamlık bakımından zorlayıcı problemler içerir [15].

Arnold Dönüşümü, bir görüntünün piksellerini konumunu değiştirmeye yarayan bir karıştırma tekniğidir. Dönüşüm sonrası orijinal görüntü şifrelenmiş ve karışmış hale gelir [19]. $N \times N$ görüntü için Arnold Dönüşümü aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \pmod{N} \quad (2.3)$$

Ana görüntünün piksel konumları x ve y olarak; karıştırılmış görüntünün piksel konumları x' ve y' olarak temsil edilmektedir [19, 20]. Tersine Arnold Dönüşümü aşağıda belirtilmiştir [21].

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 & -1 \\ -1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} \pmod{N} \quad (2.4)$$

Arnold Dönüşümünden maksimum verimi alabilmek için işlem birden fazla kez tekrarlanmalıdır. N sayıda dönüşüm gerçekleştirildikten sonra ana veri beyaz gürültüye çevrilmiş olur [21]. N ayrıca şifreleme ve şifre çözmede gizli anahtar olarak kullanılır (Suvd., 2019). Arnold Dönüşümü görüntünün verilerini simetrik olarak farklı alanlara dağıttığından damgalama sırasında filigrana uygulandığında damganın fark edilebilirliğini azaltır [22].

Uzamsal alanda yapılan bir diğer yöntem de damgalama için anahtar olarak kullanılabilen Hash fonksiyonu. Hash fonksiyonu bir veriden geri döndürülemeyen anlamsız bir sayı dizimi etmek amacıyla kullanılmaktadır. Oluşan dizimin boyutu aynı fonksiyonda sabittir. Hash fonksiyonun temel hedefi minimum eforla maksimum değişikliğe ulaşmaktır [23].

2.2. Frekans Alanı Damgalama Teknikleri

Ayrık Dalgacık Dönüşümü (ADD), Ayrık Fourier Dönüşümü (AFD) ve Ayrık Kosinüs Dönüşümü, damgalama için yaygın olarak kullanılan frekans alanı yöntemleridir.

ADD, görüntü ve sinyal işlemede kullanılan bir yöntemdir [24]. Çözünürlük analizi yüksek, bilgileri yüksek geçiren filtre ve alçak geçiren filtre ile katmanlara ayrıştırma sağlar. Yüksek geçiren filtre ile görüntünün ana hatlarını tutarken; alçak geçiren filtre ile görüntünün detayları ve kenarlarını korur [25]. ADD görüntüyü farklı frekanslarda alt görüntülere çevirir [26; 27]. ADD işleminden sonra görüntü düşük düşük, düşük yüksek, yüksek düşük ve yüksek yüksek olarak dört frekansa bölünür [28]. Düşük düşük frekans görüntünün ortalamasını, düşük yüksek frekans dikine dalgacık, yüksek düşük frekans yatay dalgacık ve yüksek yüksek frekans diyagonal dalgacık özelliklerini içerir. Bu durum ADD'ye çoklu çözünürlük özelliği sağlar [29]. Şekil 2.3'de 3-ölçekli ADD ayrıştırması gösterilmiştir.

DD3	YD3	YD2	YD1
DY3	YY3		
DY2		YY2	
DY1			YY1

Şekil 2.3. 3-ölçekli ADD [28]

ADD ve tersine ADD formül (5) ve formül (6)'da belirtilmiştir. $s(t)$ Orijinal sinyal, C_φ düzgeleme sabiti ve $\varphi_{x,y}(t)$ örneklendirme zaman ölçeği noktalarını temsil etmektedir [14, 30].

$$S_{x,y} = \int_{+\infty}^{-\infty} \varphi'_{x,y}(t)s(t)dt \quad (2.5)$$

$$s(t) = C_\varphi \sum_x \sum_y S_{x,y} \varphi_{x,y}(t) \quad (2.6)$$

AFD bir aperiiodik sinyalin katsayılarını oluşturmayı sağlayan bir dönüşüm yöntemidir. Bu katsayıları açmak, aperiiodik sinyali başka bir dijital dönüşümde tamamen anlamaya yarar [31]. AFD sonucu sinyal frekans alanında periodik ve ayrık hale gelmiş olur [2]. Geometrik saldırılara karşı güçlü bir yöntem olan AFD damgalama için fazı ve genliği değiştirilerek kullanılabilir [16]. N büyüklüğündeki bir Z sinyalinin AFD'ü formül (2.7)de, tersine AFD formül (2.8)de tanımlanmıştır:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)W_N^{nk} \quad (2.7)$$

$$x(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X(k) W_N^{-nk} \quad (2.8)$$

$W_N = \exp\left(-\frac{j2\pi}{N}\right)$ ve $j = \sqrt{-1}$ olarak alınmalıdır [32].

2.2.1. Ayırık kosinüs dönüşümü

Frekans alanında yapılan damgalama tekniklerinden biri AKD'dir. Dijital damgalamada AKD, görüntünün içine filigranın frekans alanında gömülmesini sağlar [6, 7].

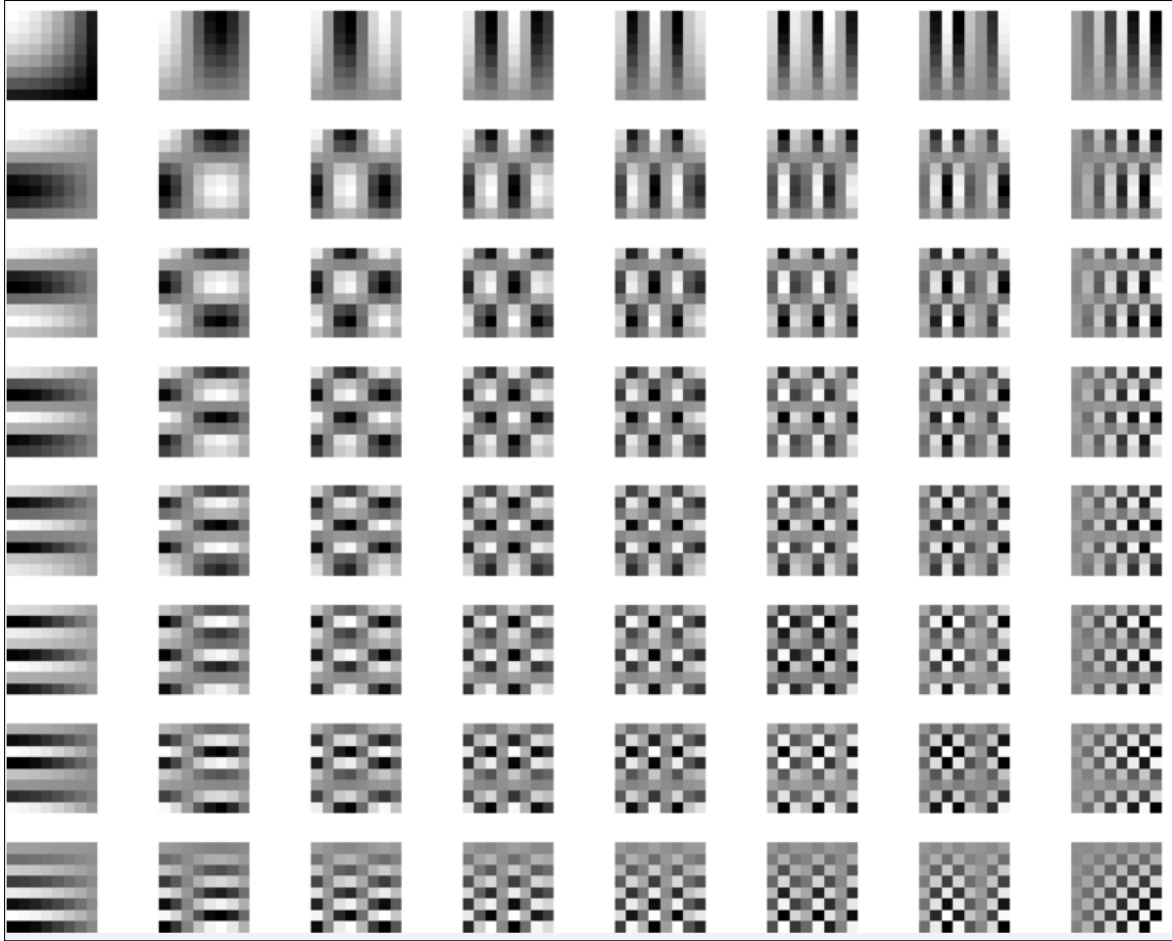
AKD yöntem olarak AFD benzemektedir. Ancak AFD sinyali gerçek ve sanal olarak ayırması sebebiyle zaman alanında sadece gerçek veriler kullanıldığından AFD'den sonra ayrıştırma yapılması gerekir. Ancak AKD'nin sadece gerçek verileri dönüştürmesi sebebiyle ayrıştırma işlemine ihtiyaç duyulmaz [33]. Bu sayede AKD AFD'ye göre işlemleri yarı orandan fazla kısaltır [15]. 2- boyutlu NxN AKD formül (2.9)da tersine AKD ise formül (2.10)te belirtilmiştir[13]:

$$F(u, v) = c(u)c(v) \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} f(i, j) \cos\left[\frac{(2i+1)u\pi}{2N}\right] \cos\left[\frac{(2j+1)v\pi}{2N}\right] \quad (2.9)$$

$$c(u) = \begin{cases} \sqrt{1/N}, & u = 0 \\ \sqrt{2/N}, & u \neq 0 \end{cases} \quad c(v) = \begin{cases} \sqrt{1/N}, & v = 0 \\ \sqrt{2/N}, & v \neq 0 \end{cases}$$

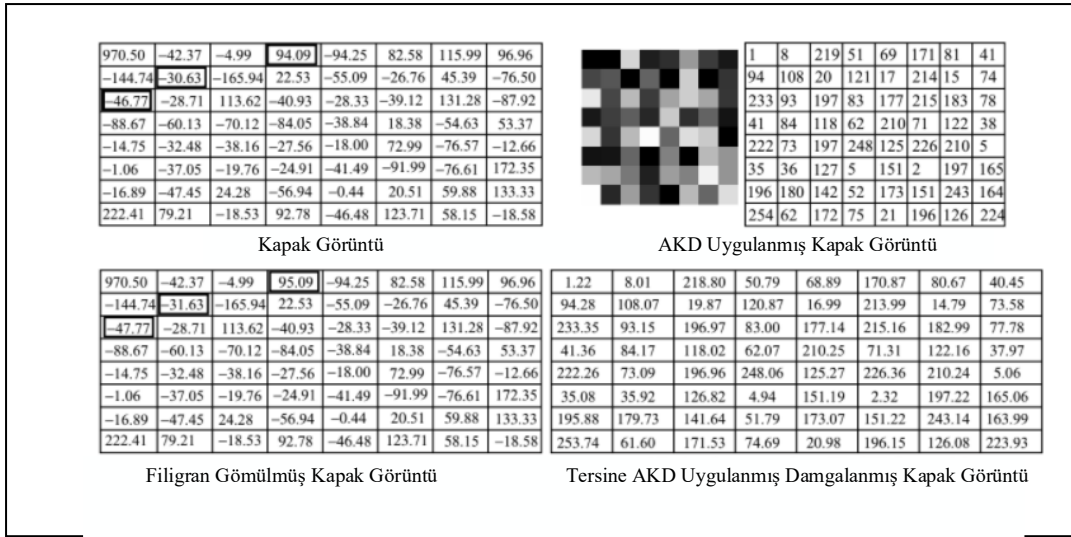
$$f(i, j) = \sum_{u=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{N-1} c(u)c(v) F(u, v) \cos\left[\frac{(2i+1)u\pi}{2N}\right] \cos\left[\frac{(2j+1)v\pi}{2N}\right] \quad (2.10)$$

AKD bir görüntüyü görsel kalitesine göre farklı önemdeki parçalara ayırır; 8x8 lik bir dizin düşünüldüğünde düşük frekanslar sol üst alanda yüksek frekanslar sağ alt alanda toplanır. Düşük frekans görüntünün yüksek enerjisini taşıyan bölgelerken, yüksek frekans görüntünün düşük enerjisini taşıyan çoğu zaman yok sayılabilen bölgedir [34]. Düşük frekanslı alana yapılan modifikasyonlar sonucu ana görüntüde ciddi farklılıklar görülür [35]. Yüksek frekans ataklara karşı dayanıksızdır [36]. Şekil 2.4'te 8x8lik bir görüntünün AKD çıktısı tasvir edilmiştir. Yüksek frekans detayları gösterirken; düşük frekans görüntünün ana hatlarını temsil etmektedir.

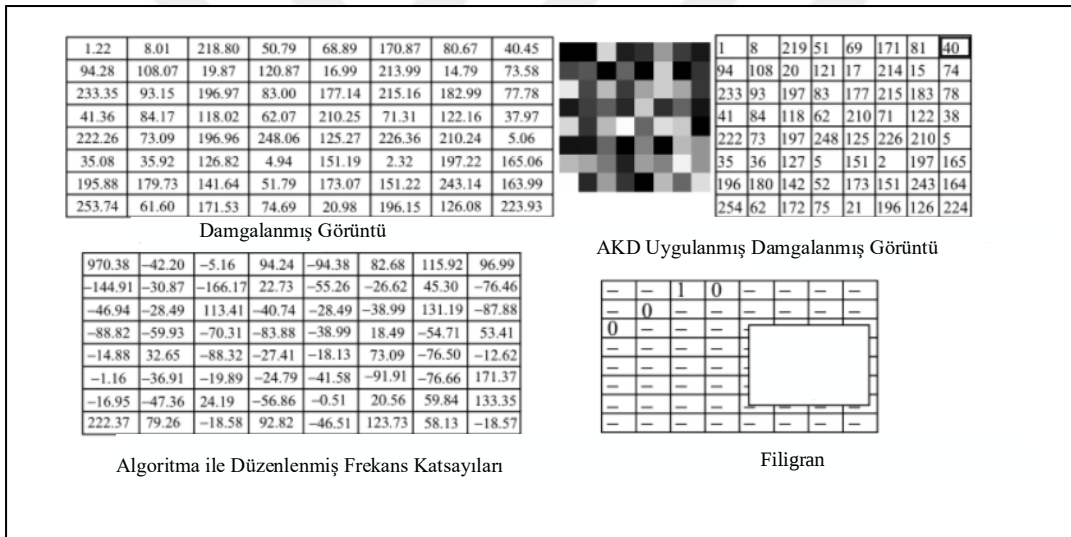


Şekil 2.4. 8x8 AKD [37]

AKD ile damgalama yönteminde özet olarak kapak görüntüye AKD uygulanır elde edilen frekans katsayılarına seçilen bir algoritma ile filigran gömülüp tersine AKD ile damgalanmış kapak görüntü elde edilmiş olur. Filigranı tekrar elde etmek için damgalanmış kapak görüntüye AKD uygulanır ilgili algoritmaya göre katsayılar seçilir ilgili dönüşümler uygulanır ve filigran elde edilir. Genel yöntemin tasviri Şekil 2.5 ve Şekil 2.6’da verilmiştir [8].



Şekil 2.5. Frekans alanında damgalama



Şekil 2.6. Frekans alanında damga çıkartma

2.3. Damgalama Tekniğinin Performans ve Saldırı Analizi

Yönetimine hedefine göre damgalama sınıfı seçilip uygun yöntem uygulandıktan sonra yöntemin hedeflere ulaşip ulaşmadığını matematiksel olarak tespit etmek için performans analizi yapılmalıdır. Performans, normleştirilmiş korelasyon ve PSNR ile hesaplanabilmektedir. Normleştirilmiş korelasyon ile uygulama sonra tekrar elde edilen filigranın kalitesi hesaplanırken; orijinal kapak görüntü ile damgalanmış kapak görüntü arasındaki hata metriği PSNR [38] ile hesaplanır. Normleştirilmiş korelasyon (NC) Formül (2.11)'de tanımlanmıştır. $f[i, j]$ orijinal filigran, $f'[i, j]$ uygulama sonrası tekrar elde

edilen filigran ve MxN filigranın boyutunu temsil eder. Bu denklem ile 0-1 arasında değerler elde edilir; sonuç 1'e ne kadar yakınsa benzerlik o kadar yüksektir.

$$NC = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (f[i,j] * f'[i,j])}{\sqrt{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (f'[i,j])} \sqrt{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (f[i,j])}} \quad (2.11)$$

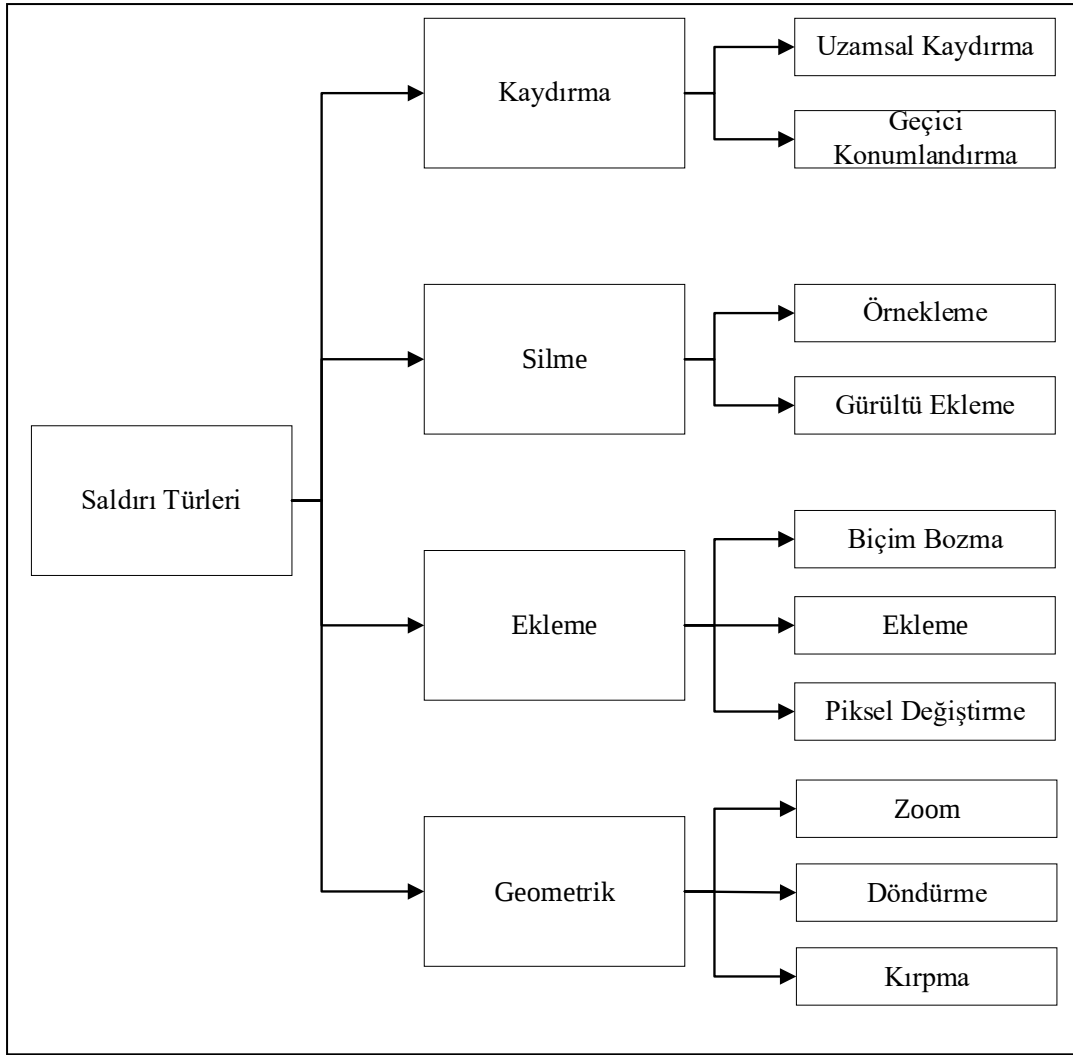
PSNR için önce hata oranlarının karelerinin toplamını tespit eden istatistiksel yöntem MSE hesaplanmalıdır. MSE, formül (2.12)'de belirtilmiştir; burada K (n, m) orijinal kapak görüntüyü, D (n, m) damgalanmış görüntüyü ve MxN, görüntünün boyutunu temsil eder.

$$MSE = \frac{1}{M*N} \sum_{n=1}^M \sum_{m=1}^N [D(n, m) - K(n, m)]^2 \quad (2.12)$$

MSE kullanılarak sistemin PSNR değeri formül (2.13) ile hesaplanır. S, görüntüdeki maksimum piksel sayısını temsil eder. Daha yüksek PSNR değeri daha iyi görüntü kalitesi anlamına gelmektedir [39].

$$PSNR = 10 * \log_{10} \frac{S^2}{MSE} \quad (2.13)$$

Geliştirilen damgalama tekniğinin nümerik performans analizine ek olarak saldırı analizinin de incelenmesi gerekmektedir. Damgalanmış görüntü dijital bir ortamda saklanıp aktarıldığından farklı kasıtlı veya kasıtsız saldırılara maruz kalır. Filigranın iki saldırı türüne karşı da dayanıklı kalması gerekmektedir. Bu nedenle geliştirilen yeni yöntemlerde simülasyon amaçlı farklı saldırılar uygulanarak analiz yapılır. Saldırıları hedefe göre farklılık göstermektedir ancak genel olarak aktif ve pasif saldırılar olarak değerlendirilir. Kapak görüntüsünü hedef alan kırpma, ölçekleme ve döndürme gibi maskeleye saldırıları ve filigrana zarar vermeyi amaçlayan filtreleme, gürültü ve sıkıştırma gibi sağlamlık saldırıları aktif saldırılara örnek olarak verilebilir. Pasif saldırılar ise kapak resmini veya filigranı yok etmeyi amaçlamayan kasıtlı veya kasıtsız filigran çıkarma saldırılarıdır[40,41]. Hedeften bağımsız maruz kalınacak tüm bu saldırılar filigranın deforme olmasına sebep olur. Genel olarak tüm saldırılar kaydırma, silme, ekleme ve geometrik sonuçlarıyla sınıflandırılır. Sebep olunacak bu sonuçlar farklı saldırı tipleriyle oluşur. Şekil 2.7'de yaygın maruz kalınan saldırılar belirtilmiştir.



Şekil 2.7. Saldırı türleri [42]

Bu saldırılardan korunmak amacıyla yapılan farklı yöntemler olsa da:

- Kapak görüntüye birden fazla filigran bilgisi gömmek,
- Damgalama işlemi sırasında örnekleme metotları uygulamak,
- Kapak görüntüye farklı alanlara dönüştürüp filigranı gömmek ve
- Filigranı parçalara ayırıp kapak görüntüde farklı konumlara gömmek örnek verilebilir.

3. AYRIK KOSİNÜS DÖNÜŞÜMÜ İLE LİTERATÜRDE YAPILAN DAMGALAMA ÇALIŞMALARI

Literatürde AKD tabanlı görüntü damgalama için çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların çoğunda AKD, sağlamlığı, güvenliği ve fark edilemezliği artırmak için çeşitli yöntemlerle birlikte kullanılmıştır. Son 10 yılda yapılan çalışmalarda AKD uzamsal alan dönüşümleri, ADD, kompleks cebir ve makine öğrenme ile güçlendirilerek farklı kullanım alanlarına hizmet eden yeni yöntemler geliştirilmiştir.

3.1. Ayrık Kosinüs Dönüşümünün Uzamsal Alan Dönüşümleri ile Birleştirilmesi

TDA ve Arnold Dönüşümü gibi uzamsal alan dönüşümleri ile karmaşıklığı düşük, ancak AKD sayesinde sağlamlığı ve fark edilemezliği yüksek yeni damgalama yöntemleri geliştirilmiştir.

3.1.1. Tekli değer ayrışımı ve ayrık kosinüs dönüşümünün birlikte uygulanması

TDA, güçlü ve kullanışlı bir matris ayrıştırmasıdır; uzamsal alanda uygulanmasına rağmen, tekil değerler üzerinde uygulanan küçük değişiklikler ile ayırt edilemezlik özelliği sağlar [43]. TDA ve AKD kombinasyonunun bir örneği olarak Roy ve Pal [44] gri tonlamalı bir görüntü damgalama yöntemi sunmuştur.

Filigranı frekans alanında kapak görüntüye görebilmek için AKD kullanılmıştır. Uygulamanın başında kapak görüntü 8x8 bloklara ayrılmış ve AKD uygulanmıştır. Önerilen yöntem ayrıca filigrana uygulanan şifreleme yöntemi ile de farklılık göstermektedir. Filigranın ham bir şekilde kapak görüntüye gömülmesi yerine ekstra güvenlik kazandırmak amacıyla Arnold Dönüşümü ile karıştırılarak şifrelenmiştir. Karıştırma işlemi ve kapak görüntünün frekans alanına çevrilmesinden sonra her ikisine de ayrı ayrı TDA uygulanıp, filigranın katsayıları kapak görüntünün katsayıları ile eşleştirilmiştir. Eşleşme sonunda elde edilen veri blokları, damgalanmış görüntü oluşturmak amacıyla ters AKD ile görüntü bloklarına geri dönüştürülmüştür. Yöntemin tersine olması hedeflenmiştir bu nedenle filigranı çıkarmak için damgalanmış görüntü bloklara bölünüp sırasıyla AKD, TDA ve tersine Arnold Dönüşümü uygulanmıştır.

Önerilen yöntemin sınıflandırılması, filigranı çıkarmak için orijinal kapak görüntüsünü gerektirmediğinden yarı kör filigran olarak yapılmıştır.

Önerilen yöntemi analiz etmek için Lena, Pepper ve Baboon görüntüleri seçilmiştir. Performans analizi, PSNR ve NC değerleri ile hesaplanmıştır. Lena görüntüsünün damgalanması sonucu PSNR 50.5281dB ve NC 0.9945 olarak hesaplanmıştır. Gauss filtresi, sıkıştırma, döndürme ve kırpma saldırıları ile sağlamlık analizi yapılmıştır. Saldırıları sonrası filigranın NC sonuçları 0,7651 ile 0,9905 arasında değişmiştir. Yöntemin en güçsüz kaldığı saldırı türü elde edilen 0,7651 NC değeri ile 20 derece döndürmedir. Buna karşın kırpma saldırılarında filigran ciddi oranda sağlam kalmıştır.

3.1.2. Temel bileşen analizi ve ayrık kosinüs dönüşümünün birlikte uygulanması

AKD'nin birlikte kullanıldığı uzamsal alanda tabanlı bir diğer yöntemse TBA'dır. Belirli bir veri setini temsil eden baskın vektörlerin hesaplanmasını sağlayan TBA, TDA'ya benzer bir metotla hesaplanır. Ancak TBA, verilerin doğrusal bağımlılığını ortadan kaldırmayı sağlar.

Saboori ve Hosseini tarafından renkli bir görüntü üzerinde TBA ve AKD ile damgalama tekniği sunulmuştur [3]. Uygulamaya geçmeden önce görüntü RGB görüntüden YCbCr görüntüye çevrilmiş ve blok tabanlı AKD için 8x8lik bloklara bölünmüştür. Elde edilen her bloğa AKD uygulanarak düşük frekans katsayıları seçilip bir vektör oluşturulmuştur. Elde edilen vektöre TBA uygulanıp filigran içine gömülmüştür. Gömme işlemi sonunda vektöre ters TBA uygulanmış katsayılar AKD bloklarının düşük frekanslarına eklenip damgalanmış görüntüyü elde etmek için tersine AKD uygulanmıştır.

Filigranı çıkarmak için hem damgalanmış görüntü hem de orijinal kapak görüntüye ihtiyaç olduğundan yöntem kör olmayan filigran özelliğine sahiptir.

Yöntemin analizi için renkli Lena görüntüsü seçilmiştir. Uygulama sonunda kapak görüntü ve damgalanmış görüntü arasında PSNR 40.08dB ve filigranlar arasında NC 1 olarak hesaplanmıştır. Sağlamlık analizi için döndürme, filtreleme ve sıkıştırma saldırıları yapılmış olup 0.3123 ile 1 arasında NC sonuçları elde edilmiştir. Önerilen bu yöntem ile 64x64 filigran 512x512 kapak görüntüye gömülebilmektedir. Özellikle 0,3123 NC değeri

ile Sağlık analizinin sonuçlarına göre döndürme saldırılarına karşı önerilen yöntem dayanıksızdır. TDA, TBA'ya göre daha dayanıklıdır.

3.1.3. Hash fonksiyonu ve ayırık kosinüs dönüşümünün birlikte uygulanması

Uzamsal alanda yapılan dönüşümler kapak görüntüye uygulanmak yerine filigranı şifrelemek amacıyla da kullanılmaktadır. Şifreleme sağlamak amacıyla Hash yaygın olarak uygulanmaktadır. TDA ve TBA yöntemleri sinyali farklı vektörlere ayırıştırırken Hash fonksiyonu, rastgele tam sayıları eşleyerek sinyali şifrelemektedir [37]. Al-Shehhi vd. [45], telif hakkı ve kimlik doğrulamasını sağlamak için ikili kullanımlı hem kırılğan ve sağlam filigran sağlayan için bir yöntem önermiştir. Sunulan yöntemde telif hakkı hedefini sağlamak için frekans alanındaki AKD yöntemi ile sağlam filigran üretilirken, kimlik doğrulama için uzamsal alanda Hash fonksiyonu sayesinde kırılğan filigran üretilmiştir.

Sistem RGB uydu görüntüleri ile test edilmiştir. Ayrıca PSNR değeri 40dB'den büyük ve NC değeri 0.99'dan büyük hesaplanmıştır. Uygulamadaki uzamsal alan dönüşümü sisteme kırılğanlık özelliği kazandırırken genel damgalama tekniğine etkisi performans olarak %0,1 civarındadır. Sunulan yöntemde saldırı analizi yapılmamıştır. Bu yöntem uydu görüntülerinin yetkisiz kopyalanmasını veya değiştirilmesini önlemek için kimlik doğrulama amacıyla kırılğan filigran ve telif hakkı kontrolü için AKD ile iki tür filigran sağlamıştır. Önerilen yöntemde her ne kadar kırılğan filigran oluşturulsa da AKD ile kırılğan filigran oluşturulamaz bu tip uygulamalar için özellikle uzamsal alanda yapılan dönüşümler seçilmelidir.

3.1.4. BIT tabanlı ayırıştırmanın ve ayırık kosinüs dönüşümünün birlikte uygulanması

Damgalama işlemi sırasında, uzamsal alan yalnızca uygulamayı karmaşıktırmayı sağlamakla kalmaz, aynı zamanda bit tabanlı koşullu ayırıştırma da sağlar. Cai-Yin vd. [46] bir CMYK renk modeli görüntü tabanlı damgalama tekniği tasarlamıştır. CMYK renkleri açık bir arka planla maskeleyen bir renk modelleme türüdür, genellikle yazıcı uygulamalarında kullanılmaktadır. C camgöbeği, M fuşya, Y sarı ve K siyah rengini temsil etmektedir. Öncelikle CMYK rengi, renk bileşenlerine ayırıştırılmıştır. Sarı bileşen seçilerek bloklara ayrılıp DCT uygulanmıştır. İkili filigran gömme işlemi yapabilmek için

filigranın içerik bilgisi ve yapıyla şablon bilgisi ayrıştırılmıştır. Filigranın içerik bilgisi, 1-0 bitlik değerlerine göre farklı algoritmalarla frekans alanında oluşturulan katsayılara gömülmüştür. Renk ayrıştırması sonrası siyah bileşene Hızlı Fourier Dönüşümü gerçekleştirildikten sonra, filigranın yapısal şablonuna AKD uygulanıp siyah bileşene AKD katsayıları gömülmüştür. Sarı bileşen ve siyah bileşenler, parlaklık, kenarlar, doku ve kontrast özelliklerine göre uzamsal görsel maskeleye tekniği ile birleştirilmiştir. Yöntemi analiz etmek için 6 farklı renk kategorisinde 300 görüntü kullanılmıştır. Bu görüntülerin PSNR değerleri 35dB'den yüksek olarak hesaplanmıştır. Önerilen yöntem çok aşamalı damgalama tekniklerine örnek verilebilir. Yöntemin karmaşıklığı sebebiyle çözülmesi güçtür.

3.2. Ayrık Kosinüs Dönüşümünün Ayrık Dalgacık Dönüşümü ile Birleştirilmesi

AKD ve ADD'nin hibrit modellemesi, görüntü damgalama için yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. Bir görüntüyü insan gözüyle ayırt etme, İnsan Görme Sistemi (İGS) tarafından gerçekleştirilir. İGS tarafından algılanabilmesi için görüntünün yeterli kontrasta sahip olması gerekir. Bu nedenle, İGS [15] tarafından pürüzsüz alanlardan ziyade kenarlar ve dokular daha fazla dikkat çekmektedir. Entropi arttıkça görüntü daha pürüzsüz hale gelir ve odak dışı olur [36]. Entropi İGS tarafından fark edilebilecek değişikliklerin saptanmasında kullanılabilir. Damgalama için İGS [7] dikkate alınarak hem düşük fark edilebilirlik hem de yüksek işlem gücü sağlayan yöntemler kullanılmalıdır.

ADD görüntü sinyallerinin düşük ve yüksek frekans alt bantlarına ayrılmasını sağlayan bir dönüşümdür. Sistemin entropisine göre filigranların gömülmesini kolaylaştırır, ayrıca filigranın yüksek frekans katsayılarına yani kenarlar ve dokular gömülmesi sayesinde daha fazla kapasite sağlanır [29]. Xia vd. [30] çalışmalarında damgala için AKD ve ADD'yi karşılaştırarak AKD'nin sıkıştırma, yeniden ölçeklendirme ve yüksek gürültülü varyant saldırılarına karşı kırılgan olduğunu tespit etmişlerdir. Ancak bu çalışmadan sonra Jabber ve Tuieb [47], ADD ve AKD'nin birlikte kullanımı sırasında AKD'nin PSNR değerinin ADD'den önemli ölçüde yüksek olduğunu saptamıştır. Hazım vd. [48], AKD ve ADD'nin ikili kullanımının filigranın sağlamlığını ve yöntemin performansını arttırdığını saptamıştır. Literatürde AKD, ADD ve farklı tekniklerin birleştirilmesiyle geliştirilmiş çeşitli yöntemler bulunmaktadır.

Agrwal vd. [49], AKD ve ADD kullanarak geliştirilmiş görünmez damgalama tekniği sunmuşlardır. Teknikte kapak görüntüye ADD uygulanarak 4 farklı frekans elde edilip 4 frekans bloğuna tekrar AKD uygulanmıştır. Her bloktaki yüksek yüksek (YY) frekans parametrelili bloklara tekrar AKD uygulanıp YY frekans parametrelili alt bantlar toplanarak 8x8lik AKD uygulanmıştır. Paralelinde filigran pikselleri ikilik sisteme çevrilerek elde edilen AKD matrisine gömülerek tersine AKD ve tersine ADD ile damgalanmış görüntü elde edilmiştir [49].

Xiaomin ve Fengyuan [22], renkli bir görüntüye renkli bir filigran gömmek amacıyla bir çalışma yapmıştır. Yapılan çalışmada filigran piksellerinin karıştırılması, kapak görüntünün renk bileşenlerine ayrılarak ADD ve AKD ile karıştırılmış filigranın gömülmesi hedeflenmiştir. Filigranın piksellerin karıştırılması Arnold Dönüşümü ile sağlanmıştır. RGB kapak görüntü bileşenlerine ayrılıp kırmızı bileşene düşük frekanslı katsayılarını elde etmek amacıyla ADD uygulanmıştır. Ardından düşük frekans katsayısından 8x8lik AKD ile 8x8 bloklar elde edilmiştir. Karıştırılmış filigran, elde edilen bloklara gömülerek ters AKD ve ters DWT uygulanmıştır. Damgalanmış kapak görüntüyü elde etmek için işlenmemiş yeşil ve mavi bileşenle işlenmiş kırmızı bileşen birleştirilmiştir. Çıkarma işlemi sırasında filigranlı görüntü kullanıldığı için yöntem yarı kör filigran özelliğine sahiptir. PSNR değeri 43.7989dB ve NC 1 olarak hesaplanmıştır. Sunulan yöntemin sağlamlığını test etmek amacıyla filtreleme, ölçeklendirme, gürültü, kırpma ve döndürme saldırıları uygulanmış olup NC değerleri 0.6501-1 aralığında hesaplanmıştır. Önerilen yöntemin en kırılgan olduğu saldırı türü gürültüdür.

Yapılan çalışmalara bir diğer örnek Zhang ve Wei [33] tarafından sunulan Parçacık Sürü Optimizasyonu'na (PSO) dayalı ADD, AKD, Genelleştirilmiş Arnold Dönüşümü ve TBA'nın bir kombinasyonunu ile geliştirilen bir yöntemdir. Önerilen yöntem farklı özellikleri sayesinde güçlendirilmiştir. Genelleştirilmiş Arnold Dönüşümü, Arnold Dönüşümüne kıyasla verileri karıştırmak için daha fazla anahtar kullanarak yöntemin güvenliğini artırırken, TBA işlemi sırasında PSO tarafından elde edilen gömme faktör matrisinin kullanımı sisteme sağlamlık kazandırır. PSO, rastgele bir değer elde etmek için kullanılan bir optimizasyon yöntemidir; genellikle dinamik ve çok hedefli ortamlarda kullanılır. PSO kuşların yiyecek bulmak için çevredeki yiyeceğe en yakın kuşu takip etme yönteminden esinlenerek oluşturulmuş bir optimizasyon tekniğidir

Zhang ve Wei tarafından sunulan yöntemi sıralamak gerekirse: AKD'nin sinyalleri gerçek bileşenlerine ayırma özelliği sayesinde kapak görüntü ayrıştırılmıştır. Elde edilen AKD katsayılarının her birine sırayla 3 seviyeli ADD uygulanıp üçüncü en düşük frekans katsayısı (DD3) ve üçüncü en yüksek frekans katsayısı (YY3) elde edilmiştir. Filigranı kapak görüntüye gömmek amacıyla bu katsayılara TBA uygulanmıştır. Genelleştirilmiş Arnold Dönüşümü sayesinde anlamsız ve çözümü zor indeks haline gelen filigrana ikinci en düşük katsayısını (DD2) elde etmek için amacıyla sırayla AKD ve 2 seviyeli ADD uygulanmış ve TBA ile vektörlerine ayrıştırılmıştır. Önerilen yöntemde filigran çözümü için bir anahtar gerekmektedir. PSO ile anahtar elde edilmiştir. Elde edilen anahtar, filigran TBA vektörleri ve kapak görüntü TBA vektörleri ile damgalama işlemi tamamlanmıştır. Yöntem, kapasite açısından 512x512 kapak resmine maksimum 256x256 filigran gömülecek şekilde tasarlanmıştır. Anahtar ve filigranlı görüntü filigranı çıkarmak için yeterli olduğundan, önerilen yöntem kör damgalamaya örnektir. Tekniğin analizinde Lena, Barbra, Goldhill ve Boat gibi gri test görüntüleri kullanılmıştır. Filigranlı görüntü ile orijinal görüntü arasındaki PSNR değeri Lena için 48.9906dB olarak hesaplanmıştır. Filigranlar arasındaki NC değeri 1'dir. Sağlamlık analizi için sıkıştırma, kırpma, Gauss filtresi, ölçekleme, 45 derece döndürme ve keskinleştirme saldırıları uygulanmış ve NC değerleri 0.9617-0.9997 aralığında hesaplanmıştır. Ayrıca yapılan çalışma sonucu elde edilen verilere göre Genelleştirilmiş Arnold Dönüşümü, geleneksel Arnold Dönüşümüne göre sisteme daha fazla sağlamlık sağlamaktadır.

3.3. Ayrık Kosinüs Dönüşümünün Kompleks Cebir ve Makine Öğrenmesi ile Birleştirilmesi

Son 10 yılda yapılan çalışmalar AKD damgalama tekniklerini geliştirmek için kompleks cebir ve makine öğrenme yöntemlerinin kullanıldığını göstermektedir. AKD ile sistemin sağlamlığı artırılırken, sistemin fark edilemezliğini ve çözümünü zorlaştırmak karmaşık cebirsel algoritmalar ve makine öğrenmesi yöntemleri ile sağlanmaktadır.

Horn vd. [50] genetik algoritmaya dayalı çevrimiçi kamu hizmetlerinde kullanılması amaçlanan bir damgalama tekniği önermiştir. Tekniğin amacı kimlik doğrulama ve veri bütünlüğü sağlamadır. Gri tonlamalı kapak görüntünün parlaklığı maskelendikten sonra sırasıyla AKD ve 4 bloklu AKD uygulanmıştır. TDA yardımıyla hem AKD uygulanmış filigran hem de AKD uygulanmış kapak görüntü vektörlerine ayrılmıştır. Genek

algoritmaya dayalı optimizasyon tekniği ile filigran vektörlerini kapak görüntü vektörlerine gömmek için bir harita oluşturulup filigran vektörleri bu haritaya göre kapak görüntü vektörleri içine saklanmıştı. Elde edilen bu harita damgalama sisteminde gizli anahtar olarak kullanılmıştır. Filigran tekrar ortaya çıkarılırken sadece kapak görüntüye ve gizli anahtara ihtiyaç duyulduğundan sistem kör damgalama sınıfına girmektedir. Sağlamlık analizi için kapak resmi olarak gri skala 256x1024 Lena ve 256x256 filigran seçilmiştir. Filigranlar arası NC 0,81 olarak hesaplanmış olup sağlamlık analizi, 0.6041-0.7676 aralığında NC değerleri üreten Gauss filtresi, JPEG sıkıştırma ve kırpma saldırıları ile gerçekleştirilmiştir.

Benoraira vd. [51], AKD ve bir gizli anahtar ile rastgele permütasyon tekniğine bağlı kör filigran yöntemini önermiştir. Kapak görüntü Zig Zag yöntemi ile entropilerine bağlı sıralanarak tek boyutlu matrise dönüştürülmüştür. Filigran, gizli anahtara bağlı olarak Rastgele Permütasyon Tekniği kullanılarak AKD uygulanmış kapak görüntü matrisine gömülmüştür. Son olarak üretilen frekans serisine ters AKD ve ters Zig Zag uygulanarak filigranlı görüntü oluşturulmuştur. Yöntem filigranı çıkartmak için sadece gizli anahtar ve damgalanmış kapak görüntüye ihtiyaç duyduğundan kör damgalama özelliği taşımaktadır. Performans analizi için 512x512 gri tonlamalı Lena görüntüsü seçilmiş olup gömme işleminden sonra orijinal kapak görüntüsü ile değiştirilmiş kapak görüntüsü arasındaki PSNR değeri 45dB olarak hesaplanmıştır. Sağlamlık analizi için, filigranlı görüntü JPEG sıkıştırma, filtreleme ve gürültü saldırılarına maruz kalarak 42 dB'den yüksek PSNR değerleri elde edilmiştir. Sistem, kırpma ve sıkıştırma saldırılarına karşı dayanıklı olmasına rağmen döndürme saldırılarına karşı kırılgandır.

Modern cebir ile önerilen diğer bir yöntem, Jamal vd. [52] tarafından sunulan Yerel Halkaya dayalı damgalama tekniğidir. Önerilen yöntemde filigran, Yerel Halka ve Sonlu Alan (Galois Alanı) yöntemi ile oluşturulan bir S-setinde şifrelenmiştir. Kapak görüntünün karmaşık değerlere ayrıştırılması ve düşük ve orta frekans katsayılarının elde edilmesi için AKD uygulanmıştır. İçinde saklanan S-setinin her pikselinin en anlamlı dört biti, AKD'den sonra elde edilen en az anlamlı dört kapak görüntü katsayısına gömülmüştür. Orijinal kapak görüntüye filigranı tekrar elde ederken ihtiyaç duyulmaktadır, bu nedenle kör olmayan filigran özelliği gösterir. Yerel Halka ve Sonlu Alan yöntemleri tarafından oluşturulan filigran S-kümesi, tekniğin karmaşıklığını arttırarak tespit edilmesini zorlaştırmıştır. Yöntem, Lena, Pepper ve Baboon görüntüleri ile analiz edilmiş olup

orijinal Lena görüntüsüne filigran uygulandıktan sonra PSNR değeri 46.5741dB olarak hesaplanmıştır. Sıkıştırma, gürültü ve kırpma saldırıları uygulandıktan sonra gürültü saldırısı 18.3259dB PSNR değeri ile en kırılgan etkiyi göstermiştir. Saldırı sonrası benzerlik analizlerinin sayısal sonuçları %40-79 aralığında olduğu için yöntem yarı kırılgan filigran olarak sınıflandırılmaktadır.

Vishwakarma & Sisaudia [36] tarafından sunulan Çekirdek Aşırı Makine Öğrenmesi (ÇAMÖ) ve Diferansiyel Değerlendirme (DD) ile AKD tabanlı damgalama yöntemi, makine öğrenmesi ve modern cebire dayalı AKD ile damgalama tekniklerine örnek olarak verilebilir. Benzersiz sonuçlara sahip bir çekirdek matrisini ifaden eden ÇAMÖ, tek katmanlı ileri beslemeli sinir ağı uygulaması için kullanılmaktadır. Bunun yanında DD, çoklu ölçekleme katsayısı optimizasyonları için uygulanmaktadır. Önerilen yöntemde kapak görüntü 8x8 bloklara bölünerek entropileri hesaplanmıştır. Filigran 1 boyutlu ikili diziye dönüştürülerek artan entropiye göre filigran dizisinin iki katı büyüklüğünde hesaplanan katsayı sayı seçilip her bloğa AKD uygulanmıştır. Bloklardan entropiye göre bir dizi oluşturmak için Zig-Zag yöntemine göre katsayılar seçilerek 3x3 matrisler oluşturulmuştur. Her matrisin en düşük frekans katsayısı toplanıp ÇAMÖ'nün eğitim veri seti olarak kullanılmıştır. Ayrıca DD sayesinde her blok için benzersiz ölçekleme katsayıları üretilmiştir. Filigranın her bir biti, ÇAMO çıktısına ve ölçekleme faktörüne bağlı ikili değerine göre değişen bir algoritma kullanılarak gömülmüştür. Önerilen yöntem, filigranı tekrar elde etmek için kapak görüntüye ve anahtar olarak öğrenme veri setine ihtiyaç duyduğundan kör filigran özelliğine sahiptir. Ayrıca sistemin kapasitesi 512x512 kapak resmi ve 32x32 filigrana uygun olarak tasarlanmıştır. Gri ölçekli Lena analiz için kullanılmış olup damgalamadan sonra PSNR ve NC değerleri sırasıyla 44.9dB ve 1 olarak hesaplanmıştır. Sağlamlık testi için Gauss filtresi, JPEG sıkıştırma ve 180 derece döndürme saldırıları gerçekleştirilmiştir. Saldırıların sonucunda NC, 0.6255 ile 1 arasında hesaplanmış 180 derece döndürme saldırılarına karşı en dayanıksız karakteri göstermiştir.

Son olarak Tarhouni vd. [12], AKD ve SURF (Speed-up Robust Feature) yöntemine dayalı kör damgalama yöntemi sunmuştur. SURF, bilgisayar tabanlı nesne tanıma, sınıflandırma ve kayıt sağlayan bir özellik algılayıcı ve tanımlayıcı algoritmadır. Önerilen yöntemde SURF, oluşturduğu öznetelik matrisi sayesinde filigran eklenmiş görüntü manipüle edilse dahi çok az hasarla filigranın kurtarılmasını sağlar. Damgalama işlemi için RGB kapak görüntü YCbCr renk uzayına dönüştürülüp Y, Cb ve Cr katsayılarına ayrıştırılmıştır. Y

katsayısı 8x8 bloğa dönüştürülmüş olup tüm bloklara 2D DCT uygulanmıştır. Ortaya çıkan frekans serileri, orta frekansları seçmek için Zig Zag yöntemine göre hizalanıp seçilen orta frekansların en az anlamlı bitlerine filigran gömülmüştür. Damgalama algoritmasında kullanılan katsayılar ve SURF öznitelik matrisi gizli anahtarı oluşturarak kör damgalama özelliği göstermiştir. Önerilen yöntemi uygulamak için RGB Lena görüntüsü seçilip işlem sonucunda NC 1 iken PSNR değeri 44.9dB olarak hesaplanmıştır. Sağlamlık analizinde JPEG sıkıştırma, Gauss filtresi, ölçekleme ve 5 derece döndürme atakları gerçekleştirilmiş ve NC değerleri 0.8-1.0 aralığında hesaplanmıştır. Bu, yöntemin rotasyon saldırılarına karşı daha az dayanıklı olduğunu tespit edilmiştir.

3.4. Ayrık Konisüs Dönüşümü ile Yapılan Sıfır Damgalama Teknikleri

Han ve Li [53] 3-boyutlu medikal görürünler için AKD kullanılarak oluşturulan bir Hash fonksiyonu ve yapay sinir ağı yöntemi ile sıfır damgalama tekniği çalışmıştır. 3-boyutlu ADD için formül (3.1) kullanılır.

$$F(u, v, w) = c(u)c(v)c(w) \left[\sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} \sum_{z=0}^{P-1} f(x, y, z) x \cos \frac{(2x+1)u\pi}{2N} \cos \frac{(2y+1)v\pi}{2N} \cos \frac{(2z+1)w\pi}{2N} \right] \quad (3.1)$$

$$c(u) = \begin{cases} \sqrt{1/M}, & u = 0, \\ \sqrt{2/M}, & u = 1, 2, \dots, M-1 \end{cases}$$

$$c(v) = \begin{cases} \sqrt{1/M}, & v = 0, \\ \sqrt{2/M}, & v = 1, 2, \dots, M-1 \end{cases}$$

$$c(w) = \begin{cases} \sqrt{1/M}, & w = 0, \\ \sqrt{2/M}, & w = 1, 2, \dots, M-1 \end{cases}$$

Tasarladıkları Hash fonksiyonunda 3-boyutlu görüntüye 3-boyutlu ADD uygulanarak düşük frekanslı alt bantlar elde edilmiştir. Bu alt bantlara 3-boyutlu AKD uygulanıp (4*5*4) katsayılar seçilip tersine AKD ile tekrar uzamsal alana dönüştürülmüştür. Elde edilen matrisin özellik matrisi oluşturulup fark değerleri hesaplanarak 64-bitlik Hash değeri elde edilmiştir. 3-boyutlu medikal görüntüye sıfır damgalama uygulamak için öncelikle görüntüye geliştirdikleri hash fonksiyonu uygulanıp filigran ise Legendre Kaotik Sinir Ağı Yöntemi ile öğretilerek kaotik bir seri oluşturulmuştur. Hash fonksiyonu uygulanmış 3-boyutlu medikal görüntü ve filigran kaotik serisi XOR mantıksal işleme

girerek sıfır damgalama için gerekli olan anahtarı oluşturmuştur. Damgalanmış görüntüden filigran elde etmek için anahtar kullanılmıştır. Kapak görüntüde herhangi bir değişiklik yapılamaması sebebiyle sunulan metot bir sıfır damgalama tekniğidir. Metodun dayanıklılık testi için filtreleme, JPEG sıkıştırma, yakınlaştırma, yukarı kaydırma ve kırpmalı saldırıları uygulanmıştır. Saldırıların sonucu elde edilen korelasyon değerleri 0,8749-1 aralığında hesaplanmıştır.

Liu vd. [54] medikal görüntüler için frekans alanında bir sıfır damgalama metodu geliştirmiştir. Sıfır damgalama yönteminde kullanılacak olan anahtar için hem kapak görüntü ve hem de filigran şifrelenmiştir. Şifreleme için görüntüye sırasıyla Dual-Tree Chaotic Wavelet Transform ve AKD uygulanmıştır. Şifrelenmiş kapak görüntünün özellik değeri vektörü şifrelenmiş filigran ile XOR mantıksal işleme girerek anahtarı oluşturmuştur. Yöntem 128x128 medikal görüntü ve 32x32 filigran ile uygulanmıştır. Damgalama işlemi sonunda korelasyon değeri 1 olarak hesaplanmıştır. Sağlamlık testi için Gaussian gürültü, JPEG sıkıştırma ve Median filtresi dönüşüm saldırıları uygulanmış PSNR değeri 9,01 – 29,78 dB aralığında NC değerleri 0,84 – 1 aralığında hesaplanmıştır. Ayrıca sağlamlık testi amacıyla geometrik saldırılar da yapılmıştır. Saat yönünün tersine döndürme saldırısı sonunda damganın NC değeri 0,53 hesaplanmıştır. Elde edilen bu değer yöntemin geometrik saldırılara karşı dayanıksız olduğunu göstermektedir.

4. AYRIK KONİSÜS DÖNÜŞÜMÜ İLE YAPILAN DAMGALAMA ÇALIŞMASI

4.1. Damgalama İşleminin Metodu

Yukarıda yapılan literatür çalışması neticesinde AKD'nin uzamsal alanda yapılan dönüşümlerle daha dayanıklı hale geldiği tespit edilmiştir. Özellikle TDA'nın uygulama kolaylığı sebebiyle damgalama tekniğinde farklı çözümler sağladığı görülmüştür. Ayrıca tekniğe eklenen gizli anahtarın ve filigranın şifrelenmesinin güvenliği arttırdığı belirtilmiştir. Bu literatür çalışmasının ışığında AKD, uzamsal alan dönüşümleri ve gizli anahtar kullanılarak geliştirilen bir damgalama metodu incelenmiştir. Önerilen yöntem kapasite olarak 512x512 kapak görüntüye 128x128 boyutundaki filigranı gömülecek şekilde geliştirilmiş olup filigran çıkartmak için sadece gizli anahtar ve damgalanmış kapak görüntü kullanıldığından kör damgalama yöntemi olarak sınıflandırılmaktadır.

Literatür çalışmalarında analiz edilen farklı görüntü damgalama yöntemlerine göre Şekil 4.1 damgalama için uygulanan yöntemleri sırasıyla göstermektedir. Filigranı tekrar elde etmek için kullanılan gizli anahtar geri döndürülemez Hash fonksiyonu ile elde edilirken, filigrana ikili koruma sağlamak amacıyla gömme işleminden önde filigrana Arnold Dönüşümü uygulanır. Gömme işleminde kapak görüntüde fark edilemez değişiklik yapmak amacıyla kapak görüntü AKD yolu ile frekans alanına çevrilerek gizli anahtar yardımıyla filigran TDA ile vektörlerine göre kapak görüntüye gömülür. Vektörlerin seçilmesi ve işlem kolaylığı için TDA'dan önce katsayılar Hessenberg matrisine çevrilir. Hessenberg matrisi üçgen görünümlü bir kare matristir. Matrisi elde etmek için formül (15) kullanılır.

$$A = Q * H * Q^T \quad (4.1)$$

A bir NxN matrisi, Q üniter matrislerini, H Hessenberg matrisi ve T de transpozu temsil etmektedir [55]. Hessenberg matrisin örnek formu Şekil 4.1'de gösterilmektedir.

$$\begin{bmatrix}
 a_{11} & a_{12} & a_{13} & \cdots & a_{1(n-1)} & a_{1n} \\
 a_{21} & a_{22} & a_{23} & \cdots & a_{2(n-1)} & a_{2n} \\
 0 & a_{32} & a_{33} & \cdots & a_{3(n-1)} & a_{3n} \\
 0 & 0 & a_{43} & \cdots & a_{4(n-1)} & a_{4n} \\
 0 & 0 & 0 & \cdots & a_{5(n-1)} & a_{5n} \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\
 0 & 0 & 0 & 0 & a_{(n-1)(n-1)} & a_{(n-1)n} \\
 0 & 0 & 0 & 0 & a_{n(n-1)} & a_{nn}
 \end{bmatrix}$$

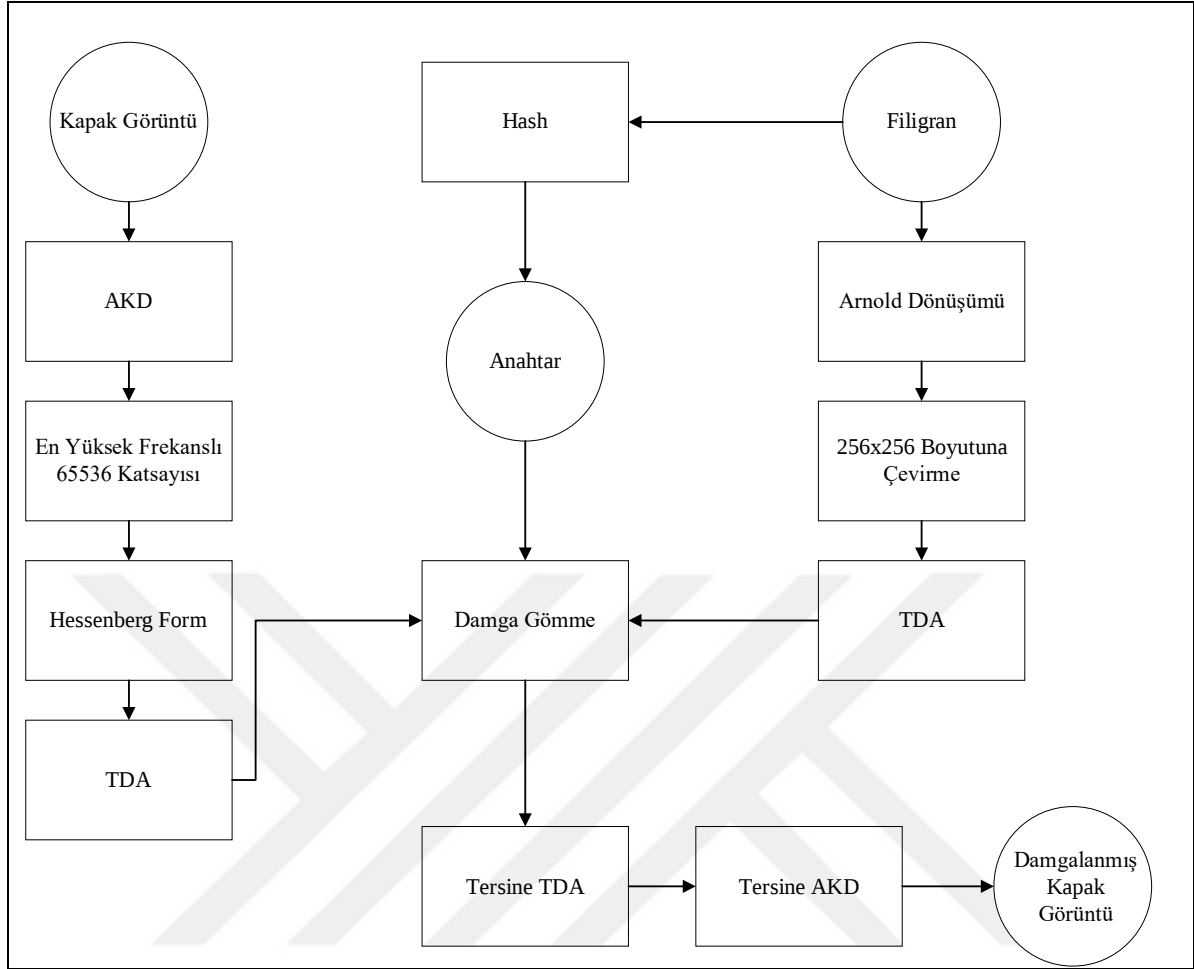
Şekil 4.1. Hessenberg matrisi [56]

Filigranı kapak görüntüye gömmek amacıyla kullanılan TDA yöntemi için hem filigranın hem de kapak görüntünün gerçek boyutu ile aynı olan S vektörü kullanılır. S vektörü tekil değerleri içermektedir ve azalan sırayla sıralanır. Hem filigranın hem de Hessenberg formundaki kapak görüntünün yüksek katsayılarının S vektörleri Hash fonksiyonu ile elde edilen gizli anahtar ile formül (4.2)'da gösterildiği gibi toplanır.

$$S_{damgalama} = S_{kapak\ görüntü} + S_{filigran} * gizli\ anahtar \quad (4.2)$$

Şekil 4.2'de gösterilen yapılan çalışmadaki damgalama adımları aşağıda sıralanmaktadır:

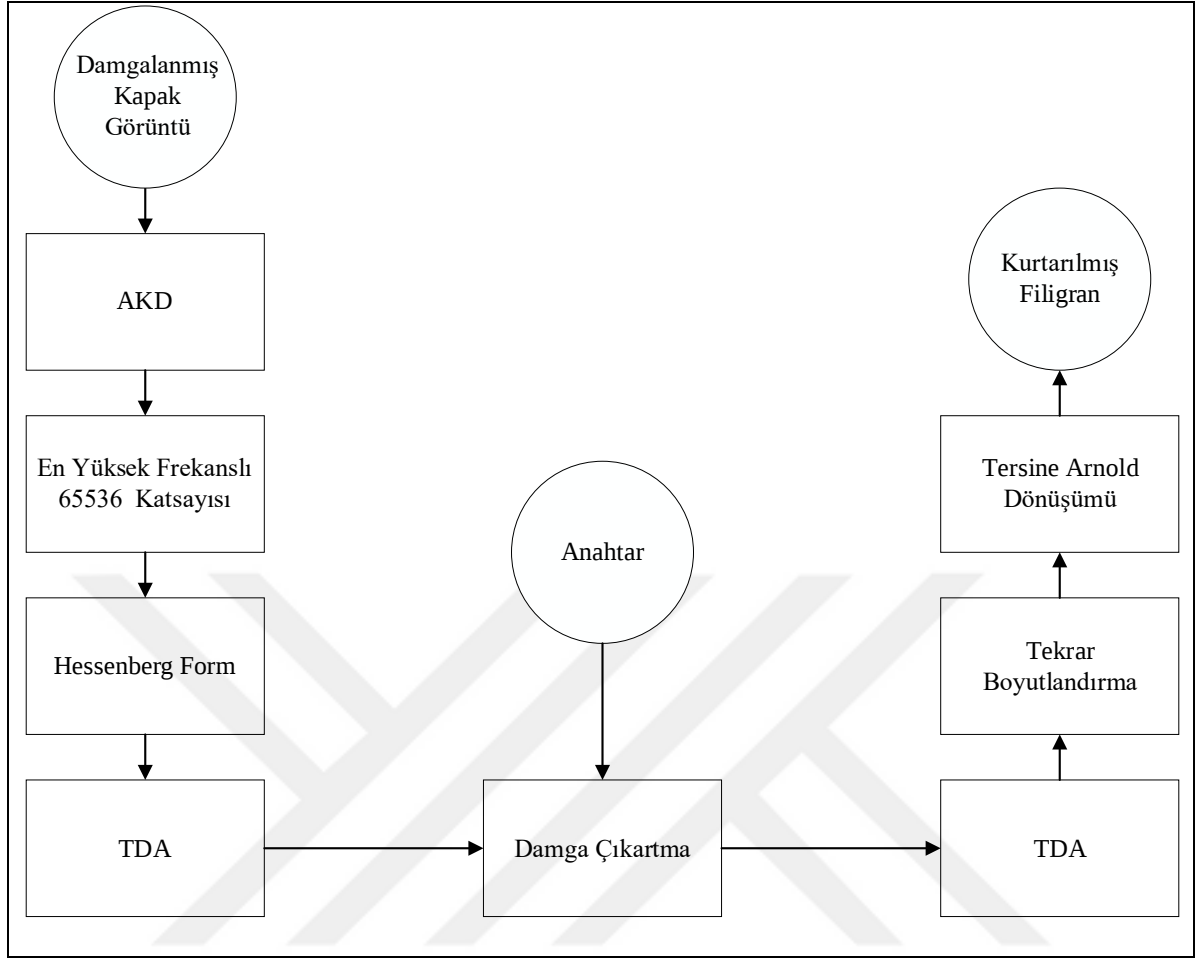
1. Kapak görüntü AKD ile frekanslarına ayrılır,
2. En yüksek frekanslı 65536 katsayı seçilir,
3. Seçilen katsayılar Hessenberg formuna çevrilir,
4. TDA ile Hessenberg formundaki katsayılar vektörlerine ayrılır,
5. Gizli anahtarı elde etmek için filigrana Hash fonksiyonu uygulanır,
6. Filigrana daha yüksek güvenlik sağlayabilmek için Arnold Dönüşümü ile pikseller karıştırılır,
7. Karışmış pikseller ile filigran boyutu 256x256'ya çevrilir,
8. Boyutu değişmiş filigran vektörlerine ayrıştırılmak için TDA uygulanır,
9. Vektörler ve gizli anahtar kullanılarak filigran dönüştürülmüş kapak görüntüye gömülür,
10. Sırasıyla tersine TDA, tersine AKD uygulanarak damgalanmış görüntü elde edilir.



Şekil 4.2. Damgalama işlemi

Filigranı tekrar elde etmek amacıyla damgalanmış kapak görüntü ve gizli anahtar kullanılmıştır. Şekil 4.3'te filigran çıkartmak için uygulanan yöntemleri göstermektedir. Filigranı tekrar elde etmek için sırasıyla aşağıdaki yöntemler uygulanmıştır:

1. Damgalanmış görüntü frekanslarına ayrılması için AKD uygulanır,
2. Elde edilen katsayılardan en yüksek frekanslı 65536 katsayı seçilir,
3. Katsayılar Hessenberg formuna çevrilir,
4. Dönüştürülen katsayılar TDA ile vektörlerine ayrılır,
5. Gizli anahtar kullanılarak filigran çıkarılır,
6. Asıl formuna çevrilmek için sırasıyla TDA uygulanır,
7. Görüntü tekrar boyutlandırılır,
8. Tersine Arnold Dönüşümü ile pikseller düzeltilerek filigran kurtarılır.



Şekil 4.3. Damga çıkarma

4.2. Damgalama İşleminin Matlab Uygulaması

Yapılan çalışma Matlab uygulaması kullanılarak test edilmiştir. Matlab uygulaması mühendislik ve bilim alanında yapılan bilimsel çalışmalarda kullanılan bir hesaplama sistemidir. İsmi Matrix Laboratory anlamına gelmektedir. Ana çalışma prensibi matris hesaplama yöntemidir [57]. Dr. Cleve Moler tarafından 1970 yılında yazılmıştır. MATLAB yazılım programını diğer yazılımlara göre sayısal hesaplamalarda özellikle kompleks istatistiksel problemler, optimizasyon gibi bir çok mühendislik problemin çözümünde kolaylık sağlar. Ayrıca kullanıcılarına spesifik bir alanda kolay algoritmalar içeren “toolbox” olarak adlandırılan çözümler sağlar [58]. Nümerik çözümlerin yanında yanında Matlab detaylı grafiksel analizler ve 2-boyutlu & 3-boyutlu grafik sonuçları ile yapılan çalışmaların görsel hale getirilmesini sağlar. Kullanıcıya geniş modifikasyon çözümleri sağlayarak ihtiyaca göre yeni yazılımlar oluşturulmasına zemin oluşturur [59].

Matlab yazılımını sağladığı bu çözümler ile önerilen damgalama tekniği analiz edilmiştir. Ekte yapılan çalışma verilmiştir. Analiz üç aşamada yapılmıştır;

- Damgalama işleminin gerçekleştirilmesi,
- Damga çıkartma işleminin gerçekleştirilmesi,
- Aynı işlemlerin saldırı altında gerçekleştirilmesi.

Damgalama işlemi için farklı Matlab fonksiyonları kullanılmıştır. Matlab uygulamaları matris tabanlı çalışma mantığı sebebiyle boyutların uyuşması çok önemlidir. Boyutları belirli bir sayıda tutmak için hem filigrana hem de kapak görüntünün boyutları fonksiyonda “length()” ve “imresize()” fonksiyonları ile kontrol edilir. Image Processing Toolbox yardımıyla 2-boyutlu AKD işlemleri “dct2()” fonksiyonu ile gerçekleştirilir. Matris eşitleme yöntemiyle en yüksek 65536 katsayı seçilerek yeni bir kare matris oluşturulur. Önerilen yöntemde filigranı karıştırarak ilave güvenlik sağlamak amacıyla önerilen yöntemde Arnold dönüşümü uygulanır. Arnold dönüşümü için açık kaynak kodlar referans alınmıştır [60]. Filigran gömme süresince Hessenberg dönüşümü ve TDA etkili şekilde kullanılır. İkisi de Matlab’ın ken kaynak kodları olan sırasıyla “hess()” ve “svd()” fonksiyonları ile uygulanır. Filigranın gömülmesi sırasında kullanılacak olan Hash fonksiyonu yine açık kaynaktan sağlanmıştır [61]. Hem filigrana hem de AKD uygulanmış Hessenberg vektörü elde edilmiş kapak görüntünün “svd()” fonksiyonu ile elde edilen S vektörü gizli anahtarın katsayı olarak çarpılmasıyla birleştirilir. Bu sayede elde edilen yeni H vektörü damgalanmış kapak görüntünün oluşturulmasında kullanılır. Tersine TDA ve Hessenberg formundan normal matris formuna dönülerek matris eşitlemesiyle kapak görüntünün orjinal yüksek frekansları ile yer değiştirilir. “idct2()” ile tersine 2-boyutlu AKD uygulanır. Damgalama işlemi sonrası orijinal kapak görüntü ile damgalanmış kapak görüntü arasındaki benzerlik PSNR metodu ile hesaplanır. PSNR metodunun Matlab’da hazır kaynak algoritması bulunur. “psnr()” fonksiyonu ile çalıştırılır.

Damgayı tekrar kurtarmak için benzer Matlab algoritmaları kullanılır. Ancak herhangi bir saldırıya maruz kalma ihtimaline karşı kapak görüntünün boyutları kontrol edilir ve tekrar “imresize()” fonksiyonu ile kare matrise çevrilir. “dct2” ile damgalanmış kapak görüntü frekans katsayılarını ayrılır. “hess()” ve “svd()” fonksiyonları ile S vektörü elde edilir. Gizli anahtar kullanılarak S vektöründen filigran kurtarılır. Tekrar “svd()” ve “hess()” ile karıştırılmış filigran oluşturulur. Yöntemde Arnold dönüşümü ayrı bir güvenlik anahtarı oluşturmuştur. Arnold algoritmasına göre açık kaynak “iarnold()” fonksiyonu [60] ile

filigran eski haline döndürülür. Filigran kurtarıldıktan sonra elde edilen filigranın orijinal filigran ile benzerliği NC yöntemi ile hesaplanır. NC yönteminin Matlab’da hazır kaynak kodu bulunmamaktadır. Formül (11)’e göre tasarlanmıştır.

Tekniğin sağlamlığını analiz etmek amacıyla saldırı analizleri yapılmalıdır. Bu analizlerden yapılan çalışmada aşağıdaki saldırılar uygulanmıştır:

- Gaussian gürültü: 0.05, 0.5 ve 5 ölçeğinde,
- Kırpma: 444x407, 296x293, 496x244, 266x393, 146x427 boyutları ile,
- Keskinleştirme: 0.8, 1.2 ölçeğinde,
- Döndürme: 45 derece, 90 derece,
- Salt and Pepper gürültüsü: 0.001, 0.01,
- Histogram eşitleme,
- Leke gürültüsü: 0.1, 0.001

Saldırı oluşturmak için Matlab fonksiyonu olarak aşağıdaki algoritmalar kullanılır:

- Gürültüler için “imnoise()”,
- Kırpma için “imcrop()”,
- Döndürme için “rotate()”,
- Histogram eşitleme “histeq()”,
- Keskinleştirme “imsharpen()

5. DEĞERLENDİRME

Bu bölümde yapılan çalışmanın değerlendirmesi ikiye ayrılmaktadır. İlk kısımda literatür taraması sonucu elde edilen veriler, ikinci kısımda ise yapılan çalışma sonucu elde edilen veriler belirtilmiştir.

5.1. Literatür Taraması Değerlendirmesi

Yapılan bu çalışmada literatürdeki AKD tabanlı damgalama teknikleri gözden geçirilmiş ve AKD tabanlı bir yöntem incelenmiştir. Literatür taraması sonucu elde edilen sonuçlar Çizlge 5.1'de sunulmuştur. Bu Çizlgeda yöntemler, filigranın özelliği, test görüntülerinin türü, sunulan işlemlerin güvenilirliği ve sağlamlık analizi sonuçları belirtilmiştir. Literatürde incelenen çalışmaların pozitif ve negatif özellikleri analiz edilmiştir. Literatür taramasına göre elde edilen sonuçlar aşağıda listelenmiştir;

- AKD'nin damgalama süreçlerinde tekil kullanım yerine farklı yöntemlerin kombinasyonu ile uygulanması tercih edilmiştir.
- Birkaç yöntemin birleşimi, AKD'ye dayalı damgalama tekniklerinin gücünü arttırmıştır.
- Önerilen yöntemler kullanım alanları ve sağlamlık açısından farklılık göstermiştir.
- Kırılgan damgalamada, sağlamlığın yüksek olması sebebiyle AKD kullanılmamıştır.
- Damga kurtarma yöntemine göre sınıflandırılan kör, yarı kör ve kör olmayan damgalar AKD tabanlı yöntemlerle geliştirilmiştir.
- Filigranı tekrar elde etme karakteri doğrudan sağlamlıkla ilgili olmamıştır.
- Karmaşık cebirsel yöntemler, kör damgalama çalışmalarında filigran çıkarmada kullanılacak olan gizli anahtarın oluşturulmasında sıklıkla kullanılmıştır
- Sağlamlık analizi için araştırmacılar tarafından sadece aktif saldırılar uygulanmış olup pasif saldırılar gelecekteki bir çalışmaya konu olabilir.
- Filigran işlemi sonrası ve damgalanmış kapak görüntü ile orjinal kapak görüntü arasındaki PSNR değerleri 35dB'den yüksek olarak hesaplanmıştır.
- Filigran ile kurtarılmış filigran arasındaki NC değerleri 0.81-1.00 arasında hesaplanmıştır.
- Kurtarılan filigrandaki en yüksek bozulma, AKD ve uzamsal alan dönüşümlerinin kombinasyonu ile uygulanan yöntemlerde döndürme saldırıları altında yakalanmıştır.

- Önerilen yöntemlerin farklı etkileri nedeniyle saldırıların sonuçları için kesin bir sonuç elde edilememiştir.

Çizelge 5.1. Literatür taraması sonuçları

Çalışma	Damgalama Yöntemi	Görüntü Tipi	Yöntem	PSNR, NC Değerleri	Saldırı Sonrası NC Değerleri
Roy & Pal [44]	Yarı kör, sağlam	Renkli Lena	8x8 AKD, Arnold Dönüşümü, TDA	50.5281 dB, 0.9945	• 20-derece döndürme 0.7651,
					• Gaussian gürültüsü 0.9018,
					• JPEG sıkıştırma 0.9414,
					• Kırpma 0.9905
Saboori & Hosseini [3]	Kör olmayan, sağlam	Lena, RGB	AKD, TBA	40.0800 dB, 1	• Döndürme 0.3123,
					• Gaussian gürültüsü 1,
					• JPEG sıkıştırma 0.9502
Al-Shehhi vd. [45]	Yarı kör, kırılğan, sağlam	Uydu görüntüsü, RGB	AKD, Hash Fonksiyonu	40,0000 dB, 0.9900	Sağlamlık analizi yapılmamıştır.
Cai-yin vd. [46]	N/A	300 farklı CMYK görüntü	AKD, Hızlı Fourier Dönüşümü, Uzamsal Görsel Maskeleme	35,0000 dB, N/A	Sağlamlık analizi yapılmamıştır.
Xiaomin & Fengyuan [32]	Yarı kör, sağlam	RGB görüntü	AKD, ADD, Arnold Dönüşümü	43.7989 dB, 1	• Filtreleme 0.9958,
					• Ölçekleme 1,
					• Gürültü 0.6501,
					• Kırpma 0.7756,
					• Döndürme 0.9567
Zhang & Wei [33]	Yarı kör, sağlam	Lena, gri ölçekli	AKD, ADD, Genelleştirilmiş Arnold Dönüşümü, Sürü Parçacık Optimizasyonu	48.9906 dB, 1	• Sıkıştırma 0.9997,
					• Kırpma 0.9702,
					• Gaussian gürültü 0.9711,
					• Ölçekleme 0.9976,

Çizelge 5.1. (devam) Literatür taraması sonuçları

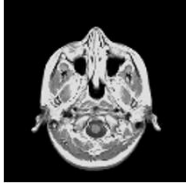
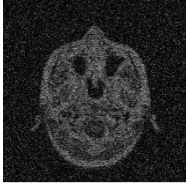
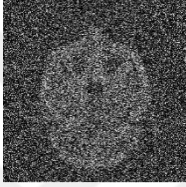
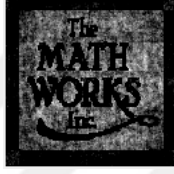
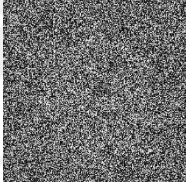
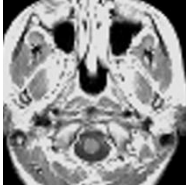
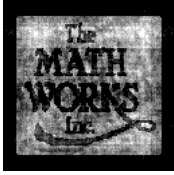
					• 45-derece döndürme 0.9805, • Keskinleştirme 0.9617
Horng vd. [50]	Kör, sağlam	Lena, gri ölçekli	AKD, TDA, Genetik Algoritma	N/A, 0.8100	• Gaussian gürültü 0.6041, • JPEG sıkıştırma 0.6667, • Kırpma 0.7676
Benoraira vd. [51]	Kör, sağlam	Lena, gri ölçekli	AKD, Rastgele Permütasyon	45.0000 dB, N/A	• JPEG sıkıştırma, • Gürültü • Filtreme > 42 dB
Jamal vd. [52]	Kör olmayan, sağlam	Lena, renkli	AKD, Yerel Halka, Sonlu Alan	46.5741 dB, 0.9437	• JPEG sıkıştırma, • Gürültü, • Kırpma
Vishwakarma & Sisaudia [36]	Yarı kör, sağlam	Lena, gri ölçekli	AKD, Çekirdek Aşırı Makine Öğrenmesi, Diferansiyel Değerlendirme	44.9000 dB, 1	• Gaussian gürültü 1, • JPEG sıkıştırma 1, • 180-derece döndürme 0.6255
Tarhouni vd. [11]	Kör, sağlam	Lena, RGB	AKD, SURF, YCbCr Dönüşümü	44.9000 dB, 1	• JPEG sıkıştırma 0.9800, • Gaussian 1, • Ölçekleme 1, • Döndürme 0.8000
Han & Li [53]	Sıfır Damgalama	3-boyutlu Medikal Görüntü	AKD, ADD, Hash, Yapay Sinir Ağları	NA	NA
Liu vd. [54]	Sıfır Damgalama	Medikal Görüntü	AKD, Dual-Tree Chaotic Wavelet Transform	NA, 1	• Gaussian gürültü 0.93, • JPEG Sıkıştırma 0.93, • Ölçekleme (0.8) 0.82

5.2. Çalışmanın Değerlendirmesi

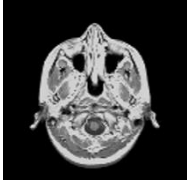
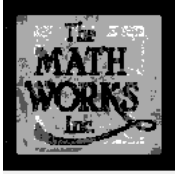
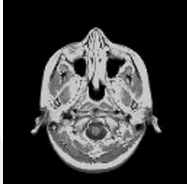
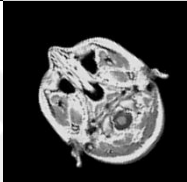
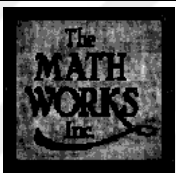
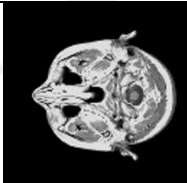
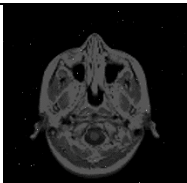
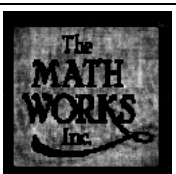
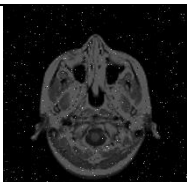
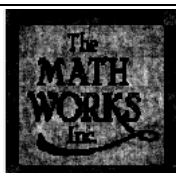
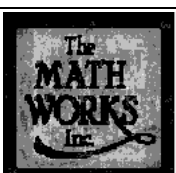
Literatür taramasına göre farklı bir yöntem geliştirilmiş olup bu çalışmaya konu olan AKD tabanlı damgalama tekniğini analiz etmek için Matlab “mri” görüntü kapak görüntü olarak, Matlab “logo” görüntüsü filigran olarak kullanılıp farklı saldırılar uygulanmıştır. Saldırıları sonrası elde edilen kapak görüntü, çıkarılmış filigran ve filigranlar arası PSNR değerleri Çizlge 5.2’de belirtilmiştir. Yapılan çalışmanın sonuçları ise aşağıda sıralanmıştır;

- Damgalama sonunda (saldırı uygulanmadan) PSNR değeri 53.8057 dB, NC değeri 0.9996 olarak hesaplanmıştır.
- Filigran çıkartma işleminde damgalanmış görüntü ve anahtar kullanıldığından yöntem kör damgalama sınıfına girmiştir.
- Filigranın boyutunu damgalamadan önce büyütmek PSNR değerini arttırmıştır. Bu nedenle gömme işleminden önce filigran 2 kat büyütülmüştür.
- 8x8 blok AKD kırpma saldırısına karşı dayanıksız kalmıştır o nedenle yöntemde geleneksel AKD kullanılmıştır.
- AKD sadece kapak görüntüye uygulanmış olup filigran uzamsal alanda tutulmuştur. Filigrana da AKD uygulandığında PSNR değeri düşük hesaplanmıştır.
- Filigranı gömmek için AKD’nin en yük frekanslı katsayıları seçilmiş olup düşük frekans seçildiğinde sistem dayanıksız hale gelmiştir.
- 5 farklı kırpma, 3 farklı Gaussian filtresi, 2 farklı keskinleştirme, Salt&Pepper filtresi, histogram eşitleme, 2 farklı lekeleme filtresi ve 2 açıda döndürme saldırıları uygulanmış olup 90 derece döndürmede en yüksek NC değeri elde edilirken; en düşük NC değeri 496x246’lık kırpma saldırısında hesaplanmıştır.

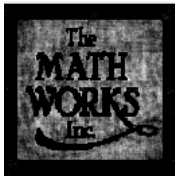
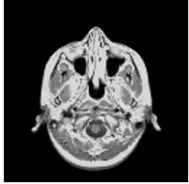
Çizilge 5.2. Çalışmanın saldırı analizi

	Damgalanmış Görüntü	Kurtarılmış Filigran	NC Değeri
Saldırı Uygulanmadan			0,9996
Gaussian Gürültü (0,05)			0,9183
Gaussian Gürültü (0,5)			0,9134
Gaussian Gürültüsü (5)			0,9153
Kırpma (444x407)			0,9942
Kırpma (296x293)			0,9417
Kırpma (496x244)			0,6606
Kırpma (266x393)			0,7961

Çizilge 5.2. (devam) Çalışmanın saldırı analizi

Kırpma (146x427)			0,9382
Keskinleştirme (0,8)			0,9758
Keskinleştirme (1,2)			0,9695
45 Derece Döndürme			0,9323
90 Derece Döndürme			0,9996
Salt and Pepper Gürültüsü (0,001)			0,9539
Salt and Pepper Gürültüsü (0,01)			0,9188
Histogram Eşitleme			0,9719

Çizlge 5.2. (devam) Çalışmanın saldırı analizi

Leke Gürültüsü (0,1)			0,9435
Leke Gürültüsü (0,001)			0,9289





6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sonuç olarak, yapılan bu çalışmada literatürde farklı kullanım alanları ile AKD yöntemine dayalı damgalama teknikleri incelenerek AKD'nin damgalama tekniğinde nasıl daha çok işlevselleştirildiği analiz edilmiştir. AKD, özellikle görüntü damgalamada görüntüyü farklı frekanslarda katsayılarına ayırma özelliği sayesinde sağlamlığını arttırmak amacıyla kullanılmıştır. Ancak, damgalama sırasında güvenlik, fark edilmezlik ve bütünlük özellikleri düşünüldüğünde AKD'nin tekil kullanıma uygun bir yöntem olmadığının altını çizmek gerekir; işlemin kalitesini artırmak için farklı yöntemlerle birleştirilmelidir. Önerilen yöntemde AKD uzamsal alanda yapılan dönüşümlerle kuvvetlendirilmiş olup kullanılan gizli anahtar ve filigrana Arnold dönüşümü ile yapılan ön şifreleme sayesinde işlemin güvenliği arttırılmıştır. Yapılan saldırı analizi sonucunda önerilen yöntemde kapak görüntünün bütünlüğünün korunmasının dayanıklılık açısından önemli olduğu tespit edilmiştir. Kapak görüntüde detaylar sistemden çıkarıldığında kurtarılan filigranın orijinal filigrana benzerliği azalmıştır. Bunun ana sebebi filigranın AKD uygulanmış kapak görüntünün yüksek frekanslı katsayılarına yani detaylarına gömülmesidir, kırpma saldırılarında yüksek frekans katsayılarını oluşturan parçalar yok edildiğinden sistemin filigranı tekrar toparlaması zorlaşmıştır. Literatür çalışmasının sonuçlarından yöntemle optimizasyon tekniklerinin eklenmesi sistemi kırpma gibi parçaların yok edilmesini hedefleyen saldırılara karşı ilave dayanıklılık sağlamaktadır. Özellikle son üç yıldaki çalışmalarda yapılan analizlere göre makine öğrenmesi ve optimizasyon teknikleri, AKD'ye dayalı damgalama için gelecekte yapılacak olan çalışmalarda sıklıkla kullanılan yöntemler olacaktır.



KAYNAKLAR

1. Singh, A. K. (2016). Improved hybrid algorithm for robust and imperceptible multiple watermarking using digital images. *Multimedia Tools and Applications*, 76(6), 8881-8900.
2. Begum, M., and Uddin, M. S. (2020). Digital Image Watermarking Techniques: A Review. *Information*, 11(2), 110.
3. Saboori, A., & Hosseini, S. A. (2014). *A new method for digital watermarking based on combination of DCT and PCA*. Presented at 22nd Telecommunications Forum Telfor, Belgrade, Serbia.
4. Seitz, J., and Jahnke, T. (2005). *Digital Watermarking for Digital Media* (First edition). United States: Information Science Publishing (an imprint of Idea Group Inc.), 1-29.
5. Arnold, M., Schmucker, M., and Wolthusen, S. D. (2003). *Techniques and applications of digital watermarking and content protection* (First edition). Boston: Artech House, 11-12.
6. Yen, C., and Huang, Y. (2015). Frequency domain digital watermark recognition using image code sequences with a back-propagation neural network. *Multimedia Tools and Applications*, 75(16), 9745-9755
7. Seo, H., Wei, Q., Kwon, S., and Sohng, K. (2017). Medical Image Watermarking using bit threshold map based on just noticeable distortion in discrete cosine transform. *Technology and Health Care*, 25(2017), 367-375.
8. Shih, F. Y. (2010). *Image Processing and Pattern Recognition* (First edition). Canada: IEEE, 26-28.
9. Irany, B. (2011). *A high capacity reversible multiple watermarking scheme - applications to images, medical data, and Biometrics*. Master's thesis, University of Toronto, Toronto, 7-21.
10. Abdel-Hamid, A. T., and Tahar, S. (2008). *Fragile IP watermarking techniques*. Paper presented at the NASA/ESA Conference on Adaptive Hardware and Systems, Noordwijk, The Netherlands.
11. Mousavi, S. M., Naghsh, A., and Abu-Bakar, S. A. (2014). Watermarking techniques used in medical images: A survey. *Journal of Digital Imaging*, 27(6), 714-729.
12. Tarhouni, N., Charfeddine, M., and Ben Amar, C. (2020). Novel and Robust Image Watermarking for copyright protection and Integrity Control. *Circuits, Systems, and Signal Processing*, 39(10), 5059-5103.
13. Li, Y., Wei, D., and Zhang, L. (2021). Double-encrypted watermarking algorithm based on cosine transform and fractional Fourier transform in invariant wavelet domain. *Information Sciences*, 551(2021), 205-227.

14. Singh, A. K., Kumar, B., Singh, G., and Mohan, A. (2019). *Medical Image Watermarking: Techniques and Applications*. Switzerland: Springer, 13-41.
15. Nematollahi, M. A., Vorakulpipat, C., and Rosales, H. G. (2018). *Digital Watermarking techniques and trends* (First edition). Puchong, Selangor D.E: Springer Singapore, 56-57.
16. Verma, L., and Pratap Singh Chauhan, S. (2020). *A review on Digital Image Watermarking using transformation and optimization techniques*. Paper presented at the Second International Conference on Advances in Computing, Communication Control and Networking, Greater Noida, (U.P.), India.
17. Kalman, D. (2002). A singularly valuable decomposition: The SVD of a Matrix. *The College Mathematics Journal*, 27(1), 2-23.
18. Lerch, A. (2012). *An introduction to audio content analysis applications in Signal Processing and Music Informatics* (First edition). Somerset: Wiley, 199-200.
19. Thakkar, F., and Srivastava, V. K. (2021). An adaptive, secure and imperceptible image watermarking using swarm intelligence, Arnold Transform, SVD and Dwt. *Multimedia Tools and Applications*, 80(8), 12275-12292.
20. Song, J., and Wang, G. (2011). *A wavelet domain digital image-watermarking by double encryption based on Arnold transform and chaos*. Paper presented at International Conference in Electrics, Communication and Automatic Control Proceedings, Ningbo, China.
21. Bhatti, U. A., Yuan, L., Yu, Z., Li, J., Nawaz, S. A., Mehmood, A., and Zhang, K. (2021). New watermarking algorithm utilizing quaternion fourier transform with advanced scrambling and Secure Encryption. *Multimedia Tools and Applications*, 80(9), 13367-13387.
22. Xiaomin, L., and Fengyuan, Z. (2020). *Double-color digital image watermarking technology based on double transform domain*. Paper presented at IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Computer Applications, Dalian, China.
23. Stamp, M., and Low, R. M. (2007). *Applied Cryptanalysis* (First edition). Canada: Wiley Interscience. 193-264.
24. Lee, S. (2014). DWT based coding DNA watermarking for DNA copyright protection. *Information Sciences*, 273(2014), 263-286.
25. Li, Y., Wei, D., and Zhang, L. (2021). Double-encrypted watermarking algorithm based on cosine transform and fractional Fourier transform in invariant wavelet domain. *Information Sciences*, 551(2021), 205-227.
26. Coron, J., Dodis, Y., Malinaud, C., and Puniya, P. (2005). Merkle-Damgård Revisited: How to construct a hash function. *Advances in Cryptology – CRYPTO 2005*, 3621(2005), 430-448.

27. Jariwala, D., and Desai, H. (1970). JPEG image discrete wavelet transform compression using MATLAB. *Anveshana's International Journal of Research in Engineering and Applied Sciences*, 1(5), 81-91.
28. Joseph, H., and Rajan, B. K. (2020). *Image security enhancement using DCT & DWT Watermarking technique*. Paper presented at International Conference on Communication and Signal Processing, Chennai, India.
29. Winarno, A., Setiadi, D. R., Arrasyid, A. A., Sari, C. A., and Rachmawanto, E. H. (2017). *Image watermarking using low wavelet subband based on 8×8 sub-block DCT*. Paper presented at International Seminar on Application for Technology of Information and Communication (iSemantic), Semarang, Indonesia.
30. Lee, D. T., and Yamamoto, A. (1994). *Wavelets: Theory, Algorithms, and Applications* (First edition). California: Academic Press, 8-15.
31. Gazi, O. (2018). *Understanding Digital Signal Processing* (First edition). Singapore: Springer Singapore, 46-47.
32. Ito, I. (2020). A new pseudo-spectral method using the discrete cosine transform. *Journal of Imaging*, 6(4), 15.
33. Zhang, L., and Wei, D. (2019). Dual DCT-DWT-SVD Digital Watermarking algorithm based on particle swarm optimization. *Multimedia Tools and Applications*, 78(19), 28003-28023.
34. Loeffler C., Ligtenberg A. and Moschytz G. (1989). *Practical Fast 1-D DCT Algorithms with 11 Multiplications*. Paper presented at Proc. Int'l. Conf. on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Glasgow, UK.
35. Roy, S., and Pal, A. K. (2017). An indirect watermark hiding in discrete cosine transform–singular value decomposition domain for copyright protection. *Royal Society Open Science*, 4(6), 170326.
36. Vishwakarma, V. P., and Sisaudia, V. (2018). Gray-scale image watermarking based on DE-KELM in DCT domain. *Procedia Computer Science*, 132(2018), 1012-1020.
37. Huo, X. (1999). *Sparse image representation via combined transforms*. Doctoral dissertation, Stanford University, California, 52-54.
38. Chaitanya, K., Reddy, E. S., and Rao, K. G. (2014). Digital color image watermarking in RGB planes using DWT-DCT-SVD coefficients. *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, 5(2), 2413-2417.
39. İnternet: Veldhuizen, T. (1993). Measures of image quality. *The University of Edinburgh School of Informatics*. URL: https://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/LOCAL_COPIES/VELDHUIZEN/node18.html. Son Erişim Tarihi: 12.01.2022.

40. Cox, I. J., Miller, M. L., and Bloom, J. A. (2002). *Digital Watermarking* (First edition), London: Morgan Kaufmann, 279-317.
41. Mahmoud, K., Datta, S., and Flint, J. (2005). Frequency Domain Watermarking: An overview. *International Arab Journal of Information Technology*, 2(2005), 33-47.
42. Keyvanpour, M., and Boreiry, M. (2017). *Classification and evaluation of watermarking attacks in the field of video watermarking*. Paper presented at Fifth Iranian Joint Congress on Fuzzy and Intelligent Systems, Qazvin, Iran.
43. Fita, A., and Endebu, B. (2019). Watermarking Colored Digital Image Using Singular Value Decomposition for Data Protection. *Journal of Mathematical and Statistical Analysis*, 1(2), 1-11.
44. Roy, S., and Pal, A. K. (2017). An indirect watermark hiding in discrete cosine transform–singular value decomposition domain for copyright protection. *Royal Society Open Science*, 4(6), 170326.
45. Al-Shehhi, S., Al-Muhairi, M., Abuoeida, D., Al-Ahmed, H., Werghi, N., and Kunhu, A. (2013). *Robust and fragile watermarking scheme based on DCT and hash function for color satellite images*. Paper presented at Sixth International Conference on Developments in ESystems Engineering, NW, Washington DC, United States.
46. Cai-yin, W., Xiang-wei, K., and Chao, L. (2016). Process color watermarking: The use of visual masking and dot gain correction. *Multimedia Tools and Applications*, 76(15), 16291-16314.
47. Jabbar, K., and Tuieb, M. (2015). Compare between DCT and DWT for digital watermarking in color image. *Information and Knowledge Management*, 5(2015), 22-31.
48. Hazim, N., Hammed, K. L., and Saeb, Z. (2015). Image watermarking with hybrid approach using discrete wavelet transform(dwt)–discrete cosine transform (DCT). *International Journal of Advance Engineering and Research Development*, 3(02), 2-19.
49. Agrwal, S. L., Yadav, A., Kumar, U., and Gupta, S. K. (2016). *Improved invisible watermarking technique using IWT-DCT*. Paper presented at Fifth International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Trends and Future Directions), Noida, India.
50. Horng, S., Rosiyadi, D., Fan, P., Wang, X., and Khan, M. K. (2013). An adaptive watermarking scheme for e-government document images. *Multimedia Tools and Applications*, 72(3), 3085-3103.
51. Benoraira, A., Benmahammed, K., and Boucenna, N. (2015). Blind image watermarking technique based on differential embedding in DWT and DCT domains. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2015(1).

52. Jamal, S. S., Shah, T., Farwa, S., and Khan, M. U. (2017). A new technique of frequency domain watermarking based on a local ring. *Wireless Networks*, 25(4), 1491-1503.
53. Han, B., and Li, J. (2016). A new zero-watermarking algorithm resisting attacks based on differences hashing. *Cybernetics and Information Technologies*, 16(2), 135-147.
54. Liu, J., Li, J., Cheng, J., Ma, J., Sadiq, N., Han, B., . . . Ai, Y. (2019). A novel robust watermarking algorithm for encrypted medical image based on DTCWT-DCT and chaotic map. *Computers, Materials & Continua*, 61(2), 889-910.
55. Jia, Y., Bosilca, G., Luszczek, P., and Dongarra, J. J. (2013). *Parallel reduction to Hessenberg form with algorithm-based fault tolerance*. Paper presented at Proceedings of the International Conference on High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis, New York, NY, United States.
56. Press, W. H., Flannery, B. P., Teukolsky, S. A., and Vetterling, W. T. (1993). Numerical recipes in Fortran: The Art of Scientific Computing. *Choice Reviews Online*, 30(10), 476-480.
57. Hahn, B. D., and Valentine, D. T. (2007). *Essential matlab for engineers and scientists*. Amsterdam: Elsevier/Butterworth-Heinemann, 5-6.
58. Bober, W. (2014). *Introduction to numerical and analytical methods with MATLAB for engineers and scientists*. Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis, 3-4.
59. Lindfield, G., and Penny, J. (2019). *An introduction to MATLAB®* (First edition). UK: Academic Press, 1-72.
60. Internet: Piotr. Inverse and direct Arnold transform. *Matworks*. <https://in.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/35144-inverse-and-direct-arnold-transform>. Son Erişim Tarihi: 12.02.2022
61. Internet: Fnndsc. MATLAB/hash.m at master · FNNDSC/MATLAB. *Github*. <https://github.com/FNNDSC/matlab/blob/master/misc/hash.m>. Son Erişim Tarihi: 12.02.2022





EK-1. Matlab kodu

```

%% Damga gömme
% Boyutların hesaplanması
M = length(cover_image);
NR = length(watermark);
%Arnold Dönüşümü
imm = arnold(watermark,3);
%filigranın boyutu 2 katına çıkarılır
imr=imresize(imm, [NR*2 NR*2]);
N=length(imr);
%kapak görüntüye AKD uygulanır
d=dct2(cover_image);
%Yüksek frekanslar seçilir
dw=d(M-N+1:M,M-N+1:M);
%Hessenberg Dönüşümü H Hessenberg vektörü
[P, H] = hess(dw);
%TDA uygulanır
[HUw, HSw, HVw] = svd(H);
%Filigrana TDA uygulanır
[Uw, Sw, Vw] = svd(double(imr));
%alpha yani filigranın Hash fonksiyonu gizli anahtar olarak kullanılır
HSw_hat = HSw + alpha.*Sw;
% Tersine TDA
H_hat = HUw * HSw_hat * HVw';
%Hessenberg vektörü ile tekrar dönüştürülür
DD_hat = P*H_hat*P';
%Yüksek frekans eşitlenir
d(M-N+1:M,M-N+1:M)=DD_hat;
%Tersine AKD
WI=idct2(d);
watermarked_image = uint8(WI);
%% Saldırı analizi
%watermarked_image = imnoise(watermarked_image, 'gaussian', 0,5);

```

EK-1. (devam) Matlab kodu

```
%watermarked_image = imcrop(watermarked_image);
%% Damga Çıkartma
% Damgalanmış görüntüye AKD uygulanır
wd=dct2(watermarked_image);
%kırpma saldırılarına karşı tekrar boyut kareye dönüştürülür
[x,y]=size(wd);
de=0;
if x<=y
    de=y;
else
    de=x;
end
wd=imresize(wd,[de de]);
size(wd)
%filigranın ve orjinal kapak görüntünün boyu ile karşılaştırılır eğer büyükse tekrar eski
boyuta çevrilir; küçükse aynı bırakılır
if N<=de<=M
    DDw=wd(de-N+1:de,de-N+1:de);
else
    DDw=wd;
end
%Hessenberg vektörü
Hw = hess(LLw);
% TDA uygulanır
[HUw_hat, HSbw_hat, HVw_hat] = svd(Hw);
% S vektörü seçilir
Sw_hat = (HSbw_hat - HSw)./alpha;
% Hessenberg vektörü
w_hat = Uw*Sw_hat*Uw';
%Tekrar boyulandırma
ww_hat=imresize(w_hat, [NR NR]);
%Tersine Arnold
```

EK-1. (devam) Matlab kodu

```

ww_hat = iarnold(ww_hat,3);
extracted_watermark =uint8(ww_hat);
% psnr(watermark,extracted_watermark);
%NC
%{watermarkd = double(watermark); %w
extracted = double(extracted_watermark); %w_hat
n = length(watermarkd);
x = 0; y = 0; z = 0;
for i = 1:n
    for j = 1:n
        x = x + watermarkd(i,j)* extracted (i,j);
        y = y + watermarkd (i,j)* watermarkd (i,j);
        z = z + extracted (i,j)* extracted(i,j);
    end
end
y = sqrt(y); z = sqrt(z);
NC = x/(y*z); }%
```



GAZİ GELECEKTİR..