



**T.C.**  
**NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**DCT-SVD TABANLI HİBRİT YENİ BİR  
YAKLAŞIM VE KARŞILAŞTIRMALI  
ANALİZİ**

**Emine AKSU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Haziran-2024**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Emine AKSU tarafından hazırlanan “DCT-SVD Tabanlı Hibrit Yeni Bir Yaklaşım ve Karşılaştırmalı Analizi” adlı tez çalışması 28/06/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza

#### Başkan

Dr. Öğr. Üyesi Onur İNAN

.....

#### Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Murat KARAKOYUN

.....

#### Üye

Dr. Öğr. Üyesi Alperen EROĞLU

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun ....../.../20.. gün ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Havvanur UÇBEYİAY  
FBE Müdürü

## TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Emine AKSU

Tarih:

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

## DCT-SVD TABANLI HİBRİT YENİ BİR YAKLAŞIM VE KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

**Emine AKSU**

**Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Murat KARAKOYUN**

**2024, 83 Sayfa**

**Jüri**

**Dr. Öğr. Üyesi Murat KARAKOYUN**

**Dr. Öğr. Üyesi Onur İNAN**

**Dr. Öğr. Üyesi Alperen EROĞLU**

Tıbbi görüntülerin kurumlar arasında paylaşımı sırasında hasta mahremiyetini korumak için kişisel bilgilerin gömülmesinde damgalama kullanılır. Bu nedenle, tıbbi görüntülerde damgalama tekniklerinin hastaların kişisel kayıtlarının güvenliğini sağlamadaki önemi büyüktür. Bu çalışma, tıbbi görüntülerde gizli bilgi saklama amaçlı olarak kullanılan görünmez damgalama yöntemlerini değerlendirmektedir. DCT-SVD tabanlı hibrit bir damgalama tekniği kullanılarak, hastaların kişisel bilgileri ve radyoloji raporları gibi gizli mesajlar tıbbi görüntüye yerleştirilmiştir. Çalışmada üç farklı damgalama yöntemi kıyaslanmış ve damgalama sonrası görüntülerin benzerlik değerleri incelenmiştir. Birinci yöntem için taşıyıcı resim ve damganın boyutları birebir aynı olup 512x512 boyutlarındadır. İkinci yöntemde taşıyıcı resim birbiri ile örtüşmeyen 16 adet bloğa ayrılmış olup damga resim taşıyıcı resmin 1/16 'sı kadar boyuta sahiptir. Bu çalışmada önerilen üçüncü yöntemde ise taşıyıcı görüntünün ilgisiz bölgelerine damganın eklenmesi amacıyla taşıyıcı görüntüdeki ilgili bölgelere siyah renk gelecek şekilde damga uygun şekilde yeniden boyutlandırılıp yeni bir damga oluşturulmuştur. Bu yöntemde tıbbi görüntünün ilgili bölgelerine dokunulmadığından damga ekleme esnasında taşıyıcı görüntü üzerinde en az bozulma gerçekleşmiş olup, çıkan damga incelendiğinde PSNR değeri ilk yöntemle benzer olsa da SSIM değerleri kıyaslandığında diğer yöntemlere göre daha başarılı olduğu görülmektedir. Sonuç olarak, ilgisiz bölgelere damga ekleyen yöntemin diğer iki yöntemlere göre daha başarılı olduğu görülmüştür. Önerilen yöntem için ölçkleme değeri 0,01 seçildiğinde orijinal resim ile damgalanmış resim arasındaki PSNR değeri seçilen resme göre değişiklik gösterip genellikle 40'ın üzerindeyken SSIM değerleri ise 0,9'un üzerindedir.

**Anahtar Kelimeler:** DCT (Ayrık kosinüs dönüşümü), Frekans alanında damgalama, Sayısal imge damgalama, SVD (tekil değer ayrışımı), Telif haklarının korunması, Tıbbi görüntülerde damgalama

## **ABSTRACT**

### **MS THESIS**

## **A NEW DCT-SVD BASED HYBRID APPROACH AND COMPARATIVE ANALYSIS**

**Emine AKSU**

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE  
OF NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY  
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE  
IN INDUSTRIAL ENGINEERING**

**Advisor: Asst. Prof. Murat KARAKOYUN**

**2024, 83 Pages**

**Jury**

**Asst. Prof. Murat KARAKOYUN**

**Asst. Prof. Onur İNAN**

**Asst. Prof. Alperen EROĞLU**

Watermarking is used to embed personal information to protect patient privacy during the sharing of medical images between institutions. Therefore, the importance of watermarking techniques in ensuring the security of patients' personal records in medical images is significant. This study evaluates invisible watermarking methods used to conceal information in medical images. Using a DCT-SVD based hybrid watermarking technique, confidential messages such as patients' personal information and radiology reports have been embedded into medical images. Three different watermarking methods are compared in the study, and the similarity values of the images after watermarking are examined. For Method 1, the carrier image and the watermark are of identical dimensions, being 512x512. In Method 2, the carrier image is divided into 16 non-overlapping blocks, with the watermark image being 1/16 the size of the carrier image. This indicates a lower capacity for hiding the watermark compared to other methods. In the proposed Method 3, the watermark is appropriately resized and a new watermark is created to be added to the irrelevant areas of the carrier image, ensuring that black areas appear in the relevant regions of the carrier image. Since the relevant areas of the medical image are not touched during the watermark addition, there is minimal distortion of the carrier image. Although the PSNR value is similar to the first method, the SSIM values indicate that Method 3 is more successful compared to other methods. In conclusion, the method that adds the watermark to irrelevant areas is shown to be more successful than the others. When a scaling value of 0,01 is selected for this method, the PSNR value between the original and the watermarked image generally exceeds 40, depending on the selected image, while the SSIM values are above 0,9.

**Keywords:** Copyright protection, DCT (Discrete Cosine Transformation), Digital image watermarking, Frequency domain watermarking, SVD (Singular Value Decomposition), Watermarking in medical images

## ÖNSÖZ

Bu çalışma Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'na Yüksek Lisans Tezi olarak Dr. Öğr. Üyesi Murat KARAKOYUN danışmanlığında sunulmuştur.

Çalışmalarım boyunca yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren, değerli bilgilerini paylaşıp, yol gösterici rolü üstlenen danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Murat KARAKOYUN'a, manevi destekleriyle beni yalnız bırakmayan aileme, hayatımın her aşamasında desteğini ve sevgisini esirgemeyen sevgili eşim Ahmet AKSU'ya ve çalışmalarım sırasında birlikte geçireceğimiz oyun zamanlarından fedakarlık eden canım kızım Elif Defne AKSU'ya teşekkürü borç bilirim.

Emine AKSU  
KONYA-2024

# İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET .....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>v</b>
<b>ÖNSÖZ .....</b>	<b>vi</b>
<b>İÇİNDEKİLER .....</b>	<b>vii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR.....</b>	<b>ix</b>
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>4</b>
<b>3. SAYISAL İMGE DAMGALAMA .....</b>	<b>8</b>
3.1. İnsan Görme Sistemi ve Sayısal İmgenin Yapısı.....	8
3.2. Sayısal İmge Damgalama Terminolojisi.....	9
3.2.1. Steganografi .....	9
3.2.2. Kriptoloji.....	11
3.2.3. Sayısal Damgalama (Digital Watermarking).....	11
3.2.4. Parmak İzi Ekleme, Etiketleme (Fingerprinting, Labelling) .....	12
3.2.5. Sayısal İmzalama (Digital Signature) .....	12
3.3. İmge Damgalama Yöntemlerinin Sınıflandırılması.....	13
3.3.1. Algoritma Düzlemine Göre Sayısal Damgalama Yöntemleri .....	13
3.3.2. Veri Ortamına Göre Sayısal Damgalama Yöntemleri .....	14
3.3.3. Algıya Göre Sayısal Damgalama Yöntemleri .....	14
3.4. Damgalamanın Kullanım Alanları.....	15
3.5. Damgaya Karşı Yapılabilecek Saldırıları .....	17
3.5.1. Gürültü Ekleme (Tuz-Biber).....	17
3.5.2. Döndürme .....	17
3.5.3. JPEG Sıkıştırma .....	18
3.5.4. Keskinleştirme .....	18
<b>4. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>19</b>
4.1. Kullanılan Görüntüler .....	19
4.2. SVD Tabanlı İmge Damgalama.....	20
4.2.1. DCT-SVD Tabanlı Damgalama.....	23
4.3. DCT-SVD Tabanlı Hibrit Damgalama Yöntemleri.....	24
4.3.1. Yöntem 1: Eş Boyutlu Taşıyıcı Görüntü ve Damga .....	25
4.3.2. Yöntem 2: Blok Tabanlı Taşıyıcı Görüntü ve Damga .....	27
4.3.3. Yöntem 3 (Önerilen Yaklaşım): Bölünmüş Damganın İlgisiz Alanlara Eklenmesi.....	29
4.4. Değerlendirme Metrikleri .....	34
4.4.1. PSNR .....	34
4.4.2. MSE .....	36

4.4.3. SSIM .....	36
4.4.4. NC .....	37
<b>5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE ÖNERİLER.....</b>	<b>38</b>
5.1. Sonuçlar .....	38
5.1.1. Ölçkleme Katsayısının Seçimi ve Analizi .....	39
5.1.2. Karşılaştırılan Yöntemlerin Sonuç Analizi.....	75
5.1.3. Önerilen Yöntemin Farklı Saldırıları Altında İncelenmesi.....	76
5.2. Öneriler .....	79
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>80</b>



## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Kısaltmalar

DCT : Discrete Cosine Transform (Ayrık Kosinüs Dönüşümü)

DWT : Discrete Wavelet Transform (Ayrık Dalgacık Dönüşümü)

DFT : Discrete Fourier Transform (Ayrık Fourier Dönüşümü)

I: İmge (Orijinal resim)

MSE: Mean Squared Error (Ortalama Karesel Hata)

MSE\_I: Orijinal resim ile damgalanmış resim arasındaki benzerlik için mse değeri

MSE\_W: Orijinal damga ile çıkarılan damga arasındaki benzerlik için mse değeri

PSNR : Peak-Signal-to-noise Ratio (İşaret-Gürültü Oranı)

PSNR\_I: Orijinal resim ile damgalanmış resim arasındaki benzerlik için psnr değeri

PSNR\_W: Orijinal damga ile çıkarılan damga arasındaki benzerlik için psnr değeri

RGB : Red-Green-Blue

PSO: Parçacık Sürü Optimizasyonu

SVD : Singular Value Decomposition (Tekil Değer Ayrışımı)

SSIM: Structural SIMilarity Index (Yapısal Benzerlik İndeksi)

SSIM\_I: Orijinal resim ile damgalanmış resim arasındaki benzerlik için ssim değeri

SSIM\_W: Orijinal damga ile çıkarılan damga arasındaki benzerlik için ssim değeri

W: Damga

### Simgeler

$\gamma_k$  : Damga taşıyıcı imgeye gömülürken kullanılan pozitif sabit sayı

$r$  : rank

$m$ : satır sayısı

$n$ : sütun sayısı

## 1. GİRİŞ

Günümüzün en büyük teknolojik gelişmeleri, günlük hayatta birçok alanda kullanılan sayısal kitle iletişim araçlarında olmuştur. Sayısal imge, ses, film ve çoklu ortam uygulamalarının günlük hayatımızın bir parçası haline gelmesi ve internetin etkisi, telif hakkı problemlerini beraberinde getirmiş olup imgenin şifrelenmesi bu probleme tam çözüm sağlayamamıştır (Chouse ve Albayrak). Telif konusuna çözüm getirmek amacıyla kullanılan farklı bir yaklaşım ise imgenin içine bilgi gizlenmesidir. İmgenin görünümüne etki etmeden yapılan bu işlem ile telif hakkı sahibi kişi imgenin kendisine ait olduğunu ispatlayabilir. İmge içine bilgi saklamanın literatürdeki karşılığı imge damgalamaktır. Bu işlem görünür ve görünmez damgalama olmak üzere iki kategoride ele alınabilir. Ancak görünmez damgalama gizlilik ve güvenlik için daha çok tercih edilmektedir (Mohammed vd. 2021). Bu tez çalışmasında da görünmez damgalama üzerine deneyler yapılmıştır.

“Damgalama (Watermarking)” son yıllarda telif hakkının korunması, veri doğruluğunun ispatı ve bilgi saklama gibi alanlarda kullanılmak üzere ilgi çekmektedir. Geçmişten günümüze kadar birçok damgalama yöntemi önerilmiş; bazılarında görünmezlik, bazılarında dayanıklılık ve bazılarında ise hem görünmezlik hem de dayanıklılık hedeflenmiştir (ELBAŞI). Damgalama işleminin uygulandığı alana göre yöntemin belirlenmesi ve uygulanması büyük önem arz etmektedir. Sağlık da görüntüde damgalama ihtiyacı duyan sektörlerden önemli bir tanesidir. Tıbbi teşhislerin hassasiyeti nedeniyle tıbbi görüntülerin bu çalışmalar esnasında korunuyor olması büyük önem taşımaktadır. Tıbbi görüntüler teşhislerin detaylandırılması amacıyla çeşitli kurumlar arasında paylaşılmaktadır. Bu nedenle, bu görüntülere hastanın özel bilgilerini gömmek için damgalama işlemi uygulanabilmektedir. Hastaların kişisel kayıtlarının güvenliğini sağlamak için tıbbi görüntülerde damgalama tekniklerinin öneminin büyük olduğu aşikardır. Bu aşamada temel zorluk, damgalama işleminden sonra görüntü kalitesini korumak, görüntüyü bozmadan damganın sağlamlığını sürdürmektir (Mohammed vd. 2021). Bu nedenle damgalama işleminin tanı ve tedaviyi etkilememesi için görüntünün ilgisiz bölgelerinde gerçekleştirilmesi gerekmektedir (Karakış ve Gurkahraman 2021). Bu durum, tıbbi görüntülerin gerçekliği ve bütünlüğünün korunması alanında yapılacak olan gelişmelere ihtiyaç olduğunu göstermektedir (Mamuti 2019).

Bu çalışmanın amacı, hastanın radyoloji raporlarını kapsayan gizli mesajı; tıbbi görüntüde, belirlenen bölgelere yerleştirmektir. Taşıyıcı görüntünün Ayrık Kosinüs Dönüşümü (Discrete Cosine Transform, DCT) alındıktan sonra, taşıyıcı görüntünün ve

damga görüntüsünün tekil değerleri birleştirilerek damgalama işlemi gerçekleştirilir. Damgalama sonucunda taşıyıcı görüntüdeki bozulma en aza indirgenirken aynı zamanda damganın sağlam şekilde geri elde edilebilmesi hedeflenmektedir. Tıbbi görüntülerin özellikleri ve nitelikleri dikkate alınarak, geçmişte yapılan benzer araştırmalar için literatür taraması yapılmış, tıbbi görüntüler için daha güvenilir bir sayısal damgalama algoritması geliştirmek amacıyla diğer sayısal görüntü damgalama algoritmaları değerlendirilmiştir. Çalışmamızda Tekil Değer Ayrışımı (Singular Value Decomposition, SVD) esaslı hibrit bir teknik olan, DCT-SVD tabanlı görünmez bir damgalama tekniği kullanılarak elde edilen yeni imgelerin, içerdikleri gizli bilgiyi muhafaza etme yeterlikleri incelenmiş olup sonrasında damga çıkarma işlemi yapılarak, yöntemlerin başarısı test edilmiştir. Uygulama sırasında, 13 adet tıbbi görüntü taşıyıcı olarak kullanılırken 2 adet radyolojik rapor damga olarak kullanılmıştır. Damgalanmamış görüntü ile damgalanmış görüntü arasındaki benzerlik İşaret-Gürültü Oranı (Peak-Signal-to-noise Ratio, PSNR), Ortalama Karese Hata (Mean Squared Error, MSE), Normalleştirilmiş Korelasyon (Normalized Correlation, NC) ve Yapısal Benzerlik İndeksi (Structural SIMilarity Index, SSIM) metrikleri ile ölçülmüştür.

Çalışmada, DCT-SVD tabanlı hibrit damgalama tekniği kullanılarak 3 yöntem kıyaslanmıştır.

- 1. Yöntemde damga, damga ile aynı boyuttaki taşıyıcı görüntünün üzerine DCT-SVD tabanlı hibrit damgalama tekniğiyle işlenmiştir.
- 2. Yöntemde taşıyıcı görüntü 4x4 lük 16 adet bloğa ayrılmıştır, her bir blok boyutundaki damga ayrı ayrı tüm bloklara DCT-SVD tabanlı hibrit damgalama tekniğiyle damgalanmıştır.
- 3. Yöntemde taşıyıcı görüntünün ilgisiz bölgelerine damganın eklenmesi amacıyla (taşıyıcı görüntüdeki ilgili bölgelere siyah renk gelecek şekilde) damga, bölünmeye uygun şekilde yeniden boyutlandırılıp, damga ile aynı boyuttaki taşıyıcı görüntünün üzerine DCT-SVD tabanlı hibrit damgalama tekniğiyle işlenmiştir.

Her üç yöntem için de benzerlik değerleri literatürde geçerli kılınan değerlere yakın bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar, önerilen üçüncü yöntemin diğer yöntemlere göre daha başarılı olduğunu göstermiştir.

Tezin organizasyonu genel hatlarıyla şu şekildedir: 1.bölüm olan “GİRİŞ” bölümünde çalışmaya neden ihtiyaç duyulduğu ve tez boyunca hangi yöntemlerin kullanıldığından bahsedilmiştir. 2.bölüm olan “KAYNAK ARAŞTIRMASI” bölümü

altında imge damgalama ile ilgili geçmişte yapılan çalışmalardan bahsedilmiştir. 3.bölüm olan “SAYISAL İMGE DAMGALAMA” bölümünde sayısal imge damgalama ile ilgili yapılan kaynak araştırması sonucu elde edilen bilgiler verilmiştir. İnsan görme sistemi ve sayısal imgenin yapısından, imge damgalamanın ne olduğundan, sayısal imge damgalamanın terminolojisinden, imge damgalama yöntemlerinin sınıflandırılmasından, damgalamanın kullanılma nedenlerinden bahsedilmiştir. 4.bölüm olan “MATERYAL VE YÖNTEM” bölümü tezin oluşturulmasında kullanılan araçların tanıtıldığı materyal ile geliştirilen damgalama algoritmasının ayrıntılı açıklamasına yer verildiği yöntemleri içermektedir. 5.bölüm olan “ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE ÖNERİLER” bölümünde çalışmadan elde edilen sonuçlar değerlendirilip gelecekteki çalışmalar için çeşitli öneriler yapılmıştır.



## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Taşıyıcıya gizli mesaj ekleme tarihi Steganografi'den başlayıp Kriptoloji ve Sayısal Damgalama şeklinde gelişerek devam etmiş ve literatüre baktığımızda bu alanda birçok çalışma yapılmıştır.

Erçelebi ve arkadaşları tarafından 2002 yılında yapılan çalışmada, frekans bölgesinde geometrik şekiller kullanılarak bir imge damgalama yöntemi geliştirilmiştir. Yöntemin başarısını test etmek için damgalı imgeye farklı ölçek seviyelerinde beyaz gürültü eklenmiş olup sunulan yöntemin gürültülere karşı oldukça dayanıklı olduğu gözlemlenmiştir (ERÇELEBİ vd.).

Chouse ve Albayrak tarafından 2003 yılında yapılan bir çalışmada dairesel bakışlı imge damgalama yöntemi sunulmuştur. Bu yöntemde imgeye dairesel bakışlı bir damga frekans bölgesinde katılmaktadır. Damganın görünürlük oranının düşük olması için çarpımsal katma yöntemi kullanılmış olup imgede damganın varlığını test etmek için ilinti yöntemi kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar, yöntemin JPEG sıkıştırma, filtreleme, gürültü ekleme, kırpma, döndürme ve ölçekleme gibi bozucu etkilere karşı dayanıklı olduğunu göstermektedir (Chouse ve Albayrak).

Elbaşı tarafından yapılan çalışmada damgalanan elemanın saldırılara karşı dayanıklı olması için Ayrık Dalgacık Dönüşümü (Discrete Wavelet Transform, DWT) metodu kullanılan bir algoritma geliştirmiştir. DWT 'de hem LL hem de HH bantlara PRN eklenerek saldırılara karşı dayanıklı damgalama yapılmıştır. Bazı saldırılara karşı LL bandı bazı saldırılara karşı ise HH bandı doğru sonuçlar vermiştir. Bu nedenle, DWT yönteminde her iki bandı da kullanarak damgalama yapmanın daha başarılı olduğu sonucu çıkartılmıştır (ELBAŞI).

Aslantaş ve arkadaşları tarafından 2006 yılında yapılan çalışmada SVD tabanlı resim damgalama yöntemleri (DCT, DFT ve DWT) incelenmiştir. Damgalanmış resimlere çeşitli saldırılar uygulanmıştır. Optimum ölçekleme katsayısı seçildiğinde DFT-SVD tabanlı yöntemin daha başarılı olduğu gözlemlenmiştir (Aslantaş vd. 2006).

Aslantaş ve arkadaşları tarafından 2007 yılında yapılan bir diğer çalışmada ise DWT-SVD tabanlı bir resim damgalama yöntemi incelenmiştir. Damga ölçekleme faktörleri, Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) algoritmasıyla optimum şekilde belirlenmiştir. Geliştirilen teknik, sabit ölçekleme faktörü kullanan yaklaşımlara göre daha başarılı sonuçlar vermiştir (Aslantaş vd. 2006).

Aslantaş ve Öz tarafından 2007 yılında yapılan çalışmada Diferansiyel Gelişim Algoritması (Differential Evolution Algorithm, DEA) kullanılan, SVD' ye dayalı bir damgalama tekniği geliştirilmiştir. Damgalı resim, çoklu ölçekleme faktörleriyle ölçeklenmiş damganın, damgalanacak resmin tekil değerlerine eklenmesi ile elde edilmiştir. İki önemli durum olan dayanıklılık ve görünebilirlik özelliklerinin ikisini birden sağlamak için bu iki durumu değerlendiren bir amaç fonksiyonu belirlenmiş ve DEA ile optimize edilmiştir. Sonuç olarak resim kalitesinde en az düzeyde bozulmaya ve saldırılara karşı en yüksek dayanıklılığa ulaşıldığı gözlemlenmiştir (Aslantas ve Oz).

Oral ve Furat tarafından yapılan çalışmada, veri saklama yöntemleri ile bu konuda yapılan geçmiş çalışmaların sayısal görüntülere uygulanan damgalama algoritmaları incelenmiştir. Görüntü damgalama algoritmaları ayrıntılarıyla açıklanmıştır. Bu algoritmaların genellikle belirli hedeflere yönelik başarı odaklı olduğu vurgulanmıştır (ORAL ve FURAT).

Doğan ve arkadaşları tarafından 2011 yılında yapılan çalışmada SVD metodu ile renkli resimler için bir damgalama uygulaması yapılmış ve çalışmalarında SVD yöntemi ile renkli resim kullanılarak yüz resmine iris resmi gömülmüştür. Damgalama işlemi sırasında, SVD tabanlı yöntemlerde kullanılan ölçekleme değerine bağlı olmaksızın damga orijinal halde gömülmüştür. Bu sayede, geliştirilen sistemde saldırılara maruz kalan resimlerin PSNR değerleri, benzer çalışmalara kıyasla daha yüksek ve başarılı bulunmuştur (Dogan vd. 2011).

Üstiboğlu ve Ulutaş tarafından 2016 yılında yapılan çalışmada, tıbbi görüntülerin bütünlüğünü korumak için ROI (Region of Interest, ilgi alanı) ve hasta bilgilerini güvenli şekilde saklamak için RONI (Region of Non-interest, ilgi dışı bölge) bölgeleri kullanılmıştır. Literatürdeki çalışmalar, ROI' nin küçük olmasını gerektirirken, önerilen yöntem ROI' nin %65'e kadar olmasına izin vermektedir. Deneysel sonuçlar, yüksek PSNR ve Normalleştirilmiş Korelasyon (Normalized Correlation, NC) değerleriyle bu yöntemin etkili olduğunu göstermektedir (ÜSTÜBİOĞLU ve ULUTAŞ).

Mamuti tarafından 2019 yapılan çalışmada renkli görüntü, renk kanallarına ayrıştırılıp her kanal farklı damgalama algoritması ile işleme sokulmuştur. Kendisi tarafından önerilen sayısal damgalama algoritmasının performansı, NC ve PSNR kullanılarak değerlendirilip analiz edilmiştir. Deneysel sonuçlar, algoritmanın başarılı olduğunu ve yeni yaklaşımın kabul edilebilir bir görüntü elde edilmesinde etkili olduğunu göstermiştir (Mamuti 2019).

Karakış ve Gürkahraman'ın 2021 yılında gerçekleştirdikleri araştırmada, tıbbi görüntülerin dosya başlıklarında bulunan hastaların kişisel bilgileri ve radyolojik raporları AES-256 algoritması kullanılarak şifrelenmiştir. Bu şifrelenmiş bilgiler, taşıyıcı görüntülerin histogram istatistikleri yardımıyla belirlenen ilgisiz bölgelerindeki piksellere gizlenmiştir. Mesaj ve taşıyıcı görüntülerin DWT ve SVD yöntemleriyle elde edilen tekil değerleri birleştirilerek damgalama işlemi yapılmış ve bu yöntem değerlendirilmiştir. Araştırma sonucunda geliştirilen yöntemin farkedilemez olduğu, saldırılara karşı dayanıklılık gösterdiği ve veri gizleme kapasitesinin literatürdeki benzer çalışmalarla kıyaslandığında yüksek olduğu tespit edilmiştir (Karakış ve Gurkahraman 2021).

Mohammed ve arkadaşları tarafından 2021 yılında yapılan çalışmada hastanın özel bilgilerini görüntüye gömmek amacıyla hibrit bir yöntem kullanarak DCT ve SVD tabanlı bir görüntü damgalaması gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, performans değerlendirmesi için PSNR ve NC kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, önerilen yöntemin güvenli ve sağlam olduğunu göstermiştir (Mohammed vd. 2021).

Renkler ve Öztürk tarafından 2022 yılında yapılan çalışmada, görüntü kimlik doğrulaması için DCT esaslı trigonometrik fonksiyon kullanan yeni bir kırılğan damgalama yöntemi önerilmiştir. Gri seviyeli görüntüler,  $4 \times 4$  boyutunda örtüşmeyen bloklara ayrılarak her bloğa DCT uygulanmış ve DC bileşeni seçilmiştir. Seçilen değer, kontrol bitlerine dönüştürülerek bloğun en az anlamlı bitlerine damga olarak eklenmiştir. Deneysel sonuçlar, yöntemin damgalı görüntünün kalitesini koruduğunu, damganın algılanamaz olduğunu ve bölgesel saldırıları tespit etmede başarılı olduğunu göstermiştir (Renkler ve Öztürk).

Gomez-Coronel ve arkadaşları tarafından 2024 yılında yapılan çalışma, dijital görüntülere damgalama yapmak için geliştirilmiş yeni bir hibrit damgalama algoritmasını tanıtmaktadır. Algoritma, Hermite Dönüşümü (Hermite Transform, HT) ve DCT kullanarak görüntülerin mekânsal-frekans gösterimini sağlayarak, damganın algılanamazlığını ve sağlamlığını artırmaktadır. Damganın sağlamlığı ise SVD yaklaşımıyla artırılmıştır. Önerilen yöntem, aynı anda LOGO ve MetaData içerebilen iki damga görebilmektedir. Damgaları güvence altına almak için Yapboz Dönüşümü (Jigsaw Transform, JST), Basit Hücreli Otomat (Elementary Cellular Automaton, ECA), rastgele dizi üretici ve XOR işlemi gibi yöntemler kullanılmıştır. Yapılan testlerde, önerilen yöntemin geniş bir veri kümesi üzerinde etkinliği ve çeşitli saldırılara karşı sağlamlığı gösterilmiştir. Sonuç olarak, önerilen algoritmanın yüksek koruma

sağladığı ve dijital görüntü telif hakkı koruması için etkili bir çözüm sunduğu görülmüştür (Gomez-Coronel vd. 2023).

Yıldız ve arkadaşları tarafından 2024 yılında yapılan çalışmada, dijital görüntülerde telif hakkı ihlallerini ve kişisel veri gizliliğini korumak için kullanılan damgalama yöntemleri incelenmiştir. DWT, DCT ve SVD gibi yöntemlerin birleşimiyle hibrit bir damgalama tekniği geliştirilerek, damgalanmış görüntülere çeşitli gürültü türleri eklenmiştir. Bakteriyel Göç Optimizasyonu (Bacterial Foraging Optimization, BFO) ve PSO gibi optimizasyon algoritmaları kullanılarak damga çıkarma süreci iyileştirilmiş ve PSNR, Normalleştirilmiş Çapraz Korelasyon (Normalized Cross-Correlation, NCC) ve Girişim Faktörü (Interference Factor, IF) gibi performans ölçütleriyle değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, uygulanan tekniklerin etkili olduğunu ve damgalama ve damga çıkarma işlemlerinde başarılı sonuçlar verdiğini göstermiştir (Yıldız vd. 2023).

### 3. SAYISAL İMGE DAMGALAMA

Bu bölümde, insan görme sisteminin yapısı hakkında genel bilgilendirme yapılmıştır. Ayrıca görüntünün sayısallaşarak dijital ortamda saklanması tarihçesine özet olarak değinilmiş olup imge damgalama terminolojisi genel bir çerçeveden ele alınmıştır. Son olarak sayısal görüntüde imge damgalama yöntemleri genel olarak kategorize edilmiştir.

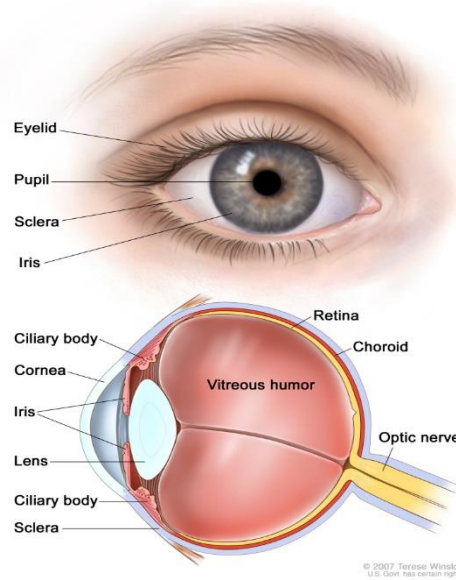
#### 3.1. İnsan Görme Sistemi ve Sayısal İmgenin Yapısı

İnsan görme sistemi temelde göz, beyin ve bunlar arasındaki bağlantıyı sağlayan optik sinirlerden oluşur.

Görme işleminde:

- 1- İnsan gözü hareket eder ve ışığı yakalayıp sinyallere dönüştürür.
- 2- Dönüştürülen sinyaller, bir görüntü alıcısı olan beyne sinyalleri analiz etmesi için iletir.
- 3- Beyin gelen sinyalleri kullanarak nörolojik görüntüleri oluşturur.

Şekil 1’de göz yapısı gösterilmiştir. Göz elektromanyetik spektrumun 400-700nm dalga boyuna duyarlıdır.



Şekil 1. İnsan gözünün biyolojik yapısı

Bir gözün iki adet algılayıcısı vardır. Işık enerjisi algılayıcısı ve foto algılayıcı. Bunlar gelen ışık enerjisini, elektrokimyasal işleyişler yoluyla elektrik enerjisine çevirirler. Bu algılayıcılara koni (cone) ve çubuk (rod) adı verilir ve retina boyunca

dağılmış durumdadırlar. Buldukları yer gözün içerisinde arka tarafıdır ve lensin odaklanması sonucu ışığın düştüğü yerdir (Sunum 2024).

Cones'lar genellikle gün ışığı görüntüleri için kullanılırlar, renklere duyarlı, yüksek çözünürlüklü ve gözün merkezinde yoğunur. Rods'lar ise gece görüşlerinde kullanılırlar, parlaklığa duyarlı, düşük ve orta çözünürlükte ve retina boyunca dağılmıştır (Sunum 2024).

Sayısal (dijital) resimler, N satır ve M sütundan oluşan bir dizi ile temsil edilir. Bu dizinin elemanlarına piksel denir. En basit durumda, pikseller sadece 0 veya 1 değerini alabilir ve bu piksellerden oluşan resimlere ikili (binary) resim denir (Oğuz 2006).

1 ve 0 değerleri, aydınlık ve karanlık bölgeleri veya nesne ile zemini (nesnenin üzerinde bulunduğu arka plan) temsil ederler. Sayısal görüntü dosyaları genellikle renkli olarak 24 veya 8 bit, gri tonlamalı olarak ise 1, 2, 4, 6 veya 8 bit olabilirler. İmgeler, bilgiyi görsel biçimde saklayıp kullanıcıya sunar. Bu bağlamda, resimler ve fotoğraflar imge olarak değerlendirilebileceği gibi, geniş bir perspektifle her türlü iki boyutlu veri de imge olarak kabul edilebilir (Oğuz 2006).

### **3.2. Sayısal İmge Damgalama Terminolojisi**

Bilgi, bir taşıyıcı üzerinde saklanıp iletilebildiği gibi çeşitli yöntemlerle anlaşılabilir hale getirilerek de iletilebilir. Her iki durumda da hedef, sadece yetkili kişilerin bu bilgiyi elde edebilmesini sağlamaktır. Sayısal teknolojilerin gelişmesiyle veri saklama yöntemleri de ilerlemiştir. Ancak dijital ortamın kolaylıklarının yanı sıra veri saklama, iletme ve telif hakları konusunda önemli sorunlar ortaya çıkmıştır. Bu sorunların çözümü için çeşitli yöntemler geliştirilmiş ve her biri farklı problemlere yönelik çözümler sunmuştur (ORAL ve FURAT).

#### **3.2.1. Steganografi**

Steganografi, Eski Yunanca "gizli" anlamına gelen "steganos" ve "yazı" anlamına gelen "graphia" kelimelerinin birleşiminden oluşur ve gizli haberleşme sanatı olarak tanımlanır. Steganografi, bir bilgiyi saklamanın yanı sıra, onu tamamen anlaşılabilir hale getirerek de iletmeyi amaçlar. Bu teknik, bilginin varlığını gizlediği için kriptolojiden daha avantajlıdır; çünkü insanlar genellikle gördükleri şeyin içinde saklı başka bir bilgi olduğunu fark etmezler. Steganografinin amacı, iki taraf arasında gizli iletişim kurmaktır ve bu tür bir sistemin saldırıya uğraması, ancak iki taraf arasındaki haberleşmenin fark edilmesiyle mümkündür (ORAL ve FURAT , Jiao ve Goutte 2010, Karabat 2010).

Steganografinin tarihteki ilk örneklerinden biri, Yunan tarihçi Herodot'un M.Ö. V. yüzyılda Pers saldırısı sırasında anlattığı bir olaydır. Yunan komutan Histiaeus, Susa Kralı Darius tarafından göz hapsine alındığında, damadı Aristagoras'a gizli bir mesaj göndermek ister. Histiaeus, bir kölenin saçını kazıtarak başına mesajı dövme şeklinde yazdırır. Saçları uzayan köle, dikkat çekmeden Anadolu'ya gider ve Aristagoras'a ulaşır. Kölenin saçları tekrar kazındığında mesaj okunur. Bu olay, steganografinin tarihte ilk kez kullanıldığı örneklerden biridir (Cox vd. 2007).

Tarihte başka steganografi yöntemleri de kullanılmıştır. Örneğin, tahta tabletlere mesaj kazıyıp üzerini mumla kaplamak ve daha sonra mumu eriterek mesajı okumak, mor ötesi boya ile yazı yazabilen kalemlerle mektup yazmak ve mor ötesi ışıkla mesajı okumak gibi yöntemler mevcuttur. Yazılı metinlerde bazı harflerin üzerine küçük delikler açarak gizli mesajlar oluşturmak ve bunları ışığa tutarak okumak da kullanılan yöntemlerdendir. II. Dünya Savaşı sırasında Almanya, mikro-nokta teknolojisi kullanarak gizli mesajları nokta kadar küçültüp, mektuptaki sözcüklerde bulunan noktalı harflerin ve noktalama işaretlerinin üzerine yapıştırarak saklamıştır (Cox vd. 2007, Katzenbeisser ve Petitcolas 2016).

II. Dünya Savaşı'ndan bir başka örnek, her kelimenin ikinci harfinin yan yana getirilmesiyle gizli mesajların ortaya çıkarılmasıdır. Örneğin, "Apparently neutrals protest is thoroughly discounted and ignored. Isman hard hit. Blockade issue affects pretext for embargo on by-products, ejecting suets and vegetable oils" paragrafında her kelimenin ikinci harfi birleştirildiğinde "Pershing sails from NY June 1" mesajı okunur. İngiltere Başbakanı Margaret Thatcher da 1981 yılında, kabinesindeki bir bakanın belgeleri sızdırmasını tespit etmek için belgelerin yazı boşluklarını bakanları tanımlamak amacıyla özel olarak ayarlatmıştır. Bu yöntemle gizli bilgileri sızdıran bakan tespit edilmiştir (Chen 1999, Johnson vd. 2001).

Günümüzde, resim, video ve ses/müzik gibi çoklu ortam ürünlerinin kullanımının yaygınlaşmasıyla, gizli mesajlar bu tür verilerin içerisine saklanmaktadır. Bilgi ve iletişim teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte, bilgi saklama yöntemleri de karmaşık matematiksel formüllere dayanarak gelişmiştir. Örneğin, dijital bir imgenin piksel değerlerinde gözle fark edilemeyecek küçük değişiklikler yapılarak gizli mesajlar saklanabilir. İmgenin büyüklüğü arttıkça daha fazla bilgi saklama kapasitesi elde edilir. Benzer şekilde, dijital ses veya müzik dosyalarına da insan kulağının fark edemeyeceği şekilde değişiklikler yapılarak gizli mesajlar yerleştirilebilir (Karabat 2010).

Gizli mesajların fark edilmemesi için özgün veriyle değiştirilmiş veri arasındaki farkın insan beyni tarafından algılanamaması ve matematiksel olarak da bulunamaması gerekmektedir. Ancak, bazı durumlarda bu gizli haberleşmenin ortaya çıkarılması gerekebilir. Bu durumda steganaliz yöntemleri devreye girer. Steganaliz, steganografik yöntemler kullanılarak saklanmış gizli bilgilerin çeşitli matematiksel yollarla ortaya çıkarılması işlemidir. Günümüzde birçok ücretsiz ve açık kaynak steganografi yazılımı internet üzerinden kolayca bulunabilir. Ancak, bu yazılımların yasadışı gruplar ve kötü niyetli kişiler tarafından kullanılması, ciddi güvenlik sorunlarını da beraberinde getirir. Yasadışı gruplar, steganografik yöntemlerle internet üzerinden çoklu ortam ürünlerine (resim, şarkı, film gibi) gizli mesajlar gömerek haberleşebilirler. İnternet üzerindeki yoğun e-posta trafiğinde şifrelenmiş mesajlar dikkat çekebilirken, gizli mesajlar saklayan görüntü, müzik ve film dosyaları şüphe uyandırmaz. Bu nedenle, steganaliz algoritmaları geliştirerek bu tür gizli ve yasadışı haberleşmeleri deşifre etmek, ulusal ve sivil güvenlik açısından büyük önem taşır (Karabat 2010).

### **3.2.2. Kriptoloji**

Kriptoloji, bir mesajı bir algoritma kullanarak şifreleme işlemidir. Şifreleme, anlamlı bir mesajı anlamsız hale getirir ve bu mesaj, taşıyıcı kullanmadan alıcıya iletilir. Alıcı, mesajı deşifre ederek orijinal içeriğe ulaşır. Üçüncü şahıslar, şifrelenmiş mesajı ele geçirmiş olsalar bile, deşifre algoritmasını bilmedikçe mesajı çözemez ve anlamını anlayamazlar. Kriptoloji, Rönesans döneminden itibaren gelişmeye başlamış ve günümüzde bilgisayarların katkısıyla iletişim alanında geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Bu yöntem, bilgi güvenliğini sağlamak amacıyla kullanılan temel tekniklerden biridir (Petitcolas vd. 1998).

### **3.2.3. Sayısal Damgalama (Digital Watermarking)**

Son yıllarda internetin ve dijital teknolojilerin yaygınlaşması, çoklu ortam ürünlerinin üretimi ve dağıtımını sorunlarını artırdı. E-ticaret, e-sağlık ve dijital kütüphaneler gibi uygulamaların artmasıyla, telif hakkı ihlalleri de artmaktadır. Özellikle, analog geri dönüşüm sorunu, üreticileri ve hak sahiplerini tehdit etmektedir. Bu, dijital içeriklerin analog formata dönüştürülerek izinsiz kopyalanması ve dağıtılması anlamına gelmektedir. Telif hakkı ihlallerini engellemek için yeni bir yöntem olarak sayısal damgalama kullanılmaktadır. Bu teknoloji, sayısal verilerin izin verilmeyen kişiler tarafından kullanılmasını önlemektedir. Örneğin, görüntülerde bilgiyi saklamak için frekans bileşenlerinin değiştirilmesi gibi yöntemler kullanılır. Bu değişiklikler insan gözü tarafından algılanamaz. Sayısal damgalama aynı zamanda e-sağlık uygulamalarında da

kullanılır. Medikal görüntülerde hastaya ait kişisel bilgilerin gizlenmesi bu teknolojinin bir örneğidir. Bu sayede, tıbbi verilerin güvenliği ve gizliliği sağlanır (Karabat 2010).

Ancak sayısal damgalamanın korsanlar tarafından silinip değiştirilmesi riski vardır. Bu nedenle güvenli ve değiştirilemez bir damga kullanılması önemlidir. Özellikle, medikal görüntülerin güvenliği ve gizliliği konusunda hassasiyet gerekmektedir. Sayısal damgalama, bu alanda tıbbi verilerin doğruluğunu ve mahremiyetini korumak için önemli bir araçtır. Geçmişte, medikal görüntülerin yanlışlıkla karışması nedeniyle mağduriyet yaşayan insanlar olmuştur. Bu nedenle, bu tür uygulamalarda güvenlik ve gizlilik standartlarına uyulması gerekmektedir (Karabat 2010, Rathi ve Inamdar 2012).

Sonuç olarak, dijital teknolojilerin yaygınlaşmasıyla birlikte, telif hakkı ihlalleri ve veri güvenliği sorunları artmaktadır. Sayısal damgalama gibi yeni teknolojiler, bu sorunların üstesinden gelmek için kullanılmaktadır. Ancak bu teknolojilerin etkinliği ve güvenliği sürekli olarak gözden geçirilmelidir (Karabat 2010).

#### **3.2.4. Parmak İzi Ekleme, Etiketleme (Fingerprinting, Labelling)**

Parmak izi ekleme, diğer adıyla etiketleme, sayısal ürünleri telif haklarına karşı korumak için kullanılan bir yöntemdir. Örneğin, sayısal bir ürünün müşteriye verilmesi öncesinde her müşteriye özel bir bilgiyi ürüne görünmez bir şekilde damgalamak, ürünlerin kopyalanması ve izlenmesi konusunda önemli avantajlar sağlar. Bu yöntem, dış saldırılara karşı dayanıklıdır ve her müşteriye özgü bir iz bırakır. Sayısal ürünlerin kolayca kopyalanabildiği dijital dünyada, bu tür bir koruma yöntemi oldukça önemlidir. Parmak izi ekleme, sayısal damgalamadan farklı bir amaç taşırken, uygulama açısından aynı özelliklere sahiptir (Arnold vd. 2003).

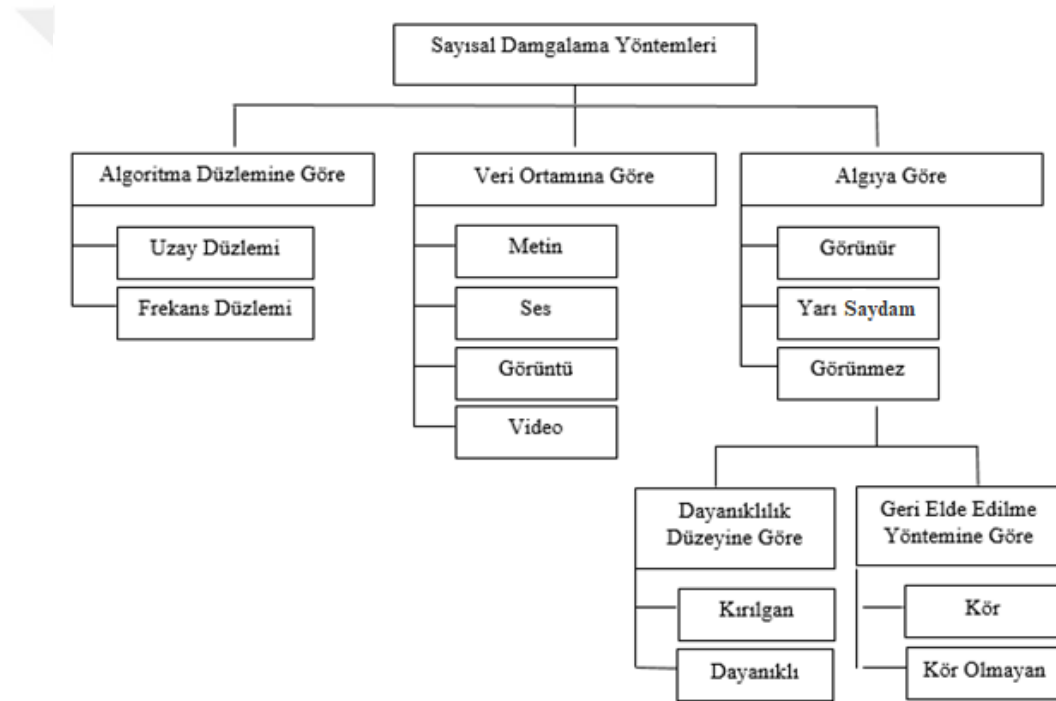
#### **3.2.5. Sayısal İmzalama (Digital Signature)**

Sayısal imzalama, dokümanların güvenliğini sağlamak için kullanılan bir yöntemdir. Bir doküman sahibi, kendi kişisel anahtarı (private key) ile dokümanı imzalayarak (şifreleyerek) doğrulamaktadır. Bu süreçte kullanılan kişisel anahtar sadece doküman sahibinin bilgisindedir. Kişisel anahtardan türetilen kamusal anahtar (public key), dokümanın gönderileceği alıcı tarafında bulunur ve dokümanı doğrulamak için kullanılır. Bu yöntem sayısal imzalama olarak da bilinir; kişisel ve kamusal anahtarların kullanımıyla gerçekleştirilir. Kamusal anahtar, dokümanın alıcı tarafından doğrulanmasını ve şifresinin çözülmesini sağlar. Sayısal imzalama, dokümanların bütünlüğünü ve güvenliğini sağlamak için önemlidir. Her kullanıcıya özgü anahtarlarla çalışır, böylece yetkisiz erişim riskini azaltır. Ancak, sayısal imzalama yöntemi de bazı güvenlik riskleri taşır. Özellikle, kişisel anahtarın kaybolması veya kötü niyetli kişilerin

eline geçmesi gibi durumlarda sistem güvenliği tehlikeye girebilir. Bu nedenle, güvenilir bir anahtar yönetimi ve sıkı güvenlik önlemleri gereklidir. Ayrıca, şifreleme algoritmalarının güvenliği de sürekli olarak gözden geçirilmeli ve güncellenmelidir. Bu sayede, sayısal imzalama yöntemi daha etkili ve güvenilir hale getirilebilir (Mohanty 1999, Tipton ve Krause 2007).

### 3.3. İmge Damgalama Yöntemlerinin Sınıflandırılması

Damgalama logo (damga, watermark) ya da gürültü şeklindeki bitlerin sayısal imge, video ve ses gibi çoklu ortam elemanlarına eklenerek sahibine ait bilgilerin saklanmasıdır (Dogan vd. 2011). Şekil 2’ de en çok kullanılan damgalama yöntemleri gösterilmiştir.



Şekil 2. Damgalama yöntemlerinin sınıflandırılması (ORAL ve FURAT)

#### 3.3.1. Algoritma Düzlemine Göre Sayısal Damgalama Yöntemleri

Algoritma düzlemine göre sayısal damgalama yöntemleri uzay düzlemi ve frekans düzlemi olmak üzere ikiye ayrılır (Fındık 2010).

##### 3.3.1.1. Uzaysal Boyutta Görüntü Damgalama

İmge damgalama işlemi uzamsal bölge tekniklerinde doğrudan piksel değerlerinin değiştirilmesi ile gerçekleştirilir. Kısaca logo direk olarak orijinal resme eklenir. Görüntü piksellerinin parlaklık değerlerine küçük değişiklikler yapılır. Damga pikselin parlaklık

değerine direk eklenebilir ya da parlaklık değerinin en düşük anlamlı bitine eklenebilir (Hsu ve Wu 1999, Mohanty 1999, Takaoğlu 2016).

### **3.3.1.2. Frekans Boyutunda Görüntü Damgalama**

Damgalama araştırmalarının önemli bir bölümünü de frekans düzleminde yapılan çalışmalar oluşturmaktadır. Frekans düzleminde yapılan damgalama işlemlerinde damgalanacak çalışma öncelikle frekans bileşenlerine ayrılır. Görüntü bilgisinin frekanslarına ayrılmasında DCT, DWT, Hızlı Fourier Dönüşümü (Fast Furrier Transform, FFT), SVD tabanlı dönüştürme araçları kullanılmaktadır (Oğuz 2006, Fındık 2010). Frekans bölgesi teknikleri saldırılara, filtrelere ve sıkıştırmaya karşı daha dayanıklıdırlar (Kashyap ve Sinha 2012).

### **3.3.2. Veri Ortamına Göre Sayısal Damgalama Yöntemleri**

Veri ortamına göre damgalama yöntemleri genellikle metin, ses, görüntü ve video formatları olarak dört ana gruba ayrılır. Görüntüler, kopyalanması ve değiştirilmesi en basit olan veri türüdür. Bu nedenle sayısal görüntüler üzerine birçok damgalama yöntemi literatürde önerilmiştir (ORAL ve FURAT).

### **3.3.3. Algıya Göre Sayısal Damgalama Yöntemleri**

Algıya göre sayısal damgalama yöntemleri görünür, görünmez ve yarı saydam olmak üzere kategorize edilir.

#### **3.3.3.1. Görünür Damgalama**

Damgalanacak damganın, görüntüye gözle net olarak görülebilecek bir şekilde, yerleştirilmesine “görünür damgalama” denir. Görüntüyü veya içeriği doğrulama amacıyla genellikle logo ve tescil etiketleri şeklinde kullanılır. Direkt olarak uygulandığından dolayı kolay ve hızlı olmasına karşılık, asıl görüntü kalitesini azaltır ve saldırılara karşı daha kırılgandır (Oğuz 2006).

Logo gibi bir resmin köşesine eklenen desenler olan görünür damgalar; ilgili resmin ticari kullanımını engelleyen, belirgin ve anlaşılabilir bir şekilde yerleştirilen damgalardır (Aslantaş vd. 2006). Televizyon kanallarının ekran üzerindeki logosu buna örnek olarak gösterilebilir.

#### **3.3.3.2. Görünmez Damgalama**

Görüntü içerisine gözle algılanamayacak bir şekilde damgayı yerleştirme işlemine “görünmez damgalama” denir. Bu yöntem ile damgalanan görüntülerde damga, yetkili kişi tarafından, görüntü içerisine bir algoritma ile dağıtılır ve başka bir algoritma ile görüntüden geri elde edilir. Damganın görüntü içindeki yeri belli olmadığından kırpma işlemi ile görüntüden ayrılamaz. Damgalama ve geri elde etme algoritmaları sadece

yetkili kişi tarafından bilindiğinden yetkisi olmayan kişilerin görüntüdeki damgaya ulaşmaları oldukça zordur (Oğuz 2006).

Görünmeyen damgaların sahip olması gereken üç temel özellik vardır: saydamlık, saldırılara karşı dayanıklılık ve yüksek kapasite. Görünmez damgalama tekniğinde, bir resmin içine en yüksek miktarda verinin damga olarak eklenmesi mümkün olmalıdır (Aslantaş vd. 2006). Görünmez damgalama yöntemleri genellikle dayanıklılık düzeylerine göre “dayanıklı” ve “kırılgan” olarak sınıflandırılır.

Dayanıklı damgalama yönteminde, taşıyıcı görüntüye gizli olarak damgalanan bilginin, görüntünün kalitesinde ciddi bir bozulmaya neden olmadan, farklı görüntü işleme saldırılarına karşı dayanıklı ve geri çıkarıldığında tanınabilir nitelikte olması amaçlanır (Oğuz 2006).

Kırılgan damgalama yöntemlerinde, eğer damgalanmış görüntüye saldırıda bulunulmuşsa damga kolaylıkla bozulacak şekilde tasarlanmıştır. Bu tür damgalama yöntemleri asıl veriyi korumak ve doğrulamak için kullanılır. Kırılgan damgalama yönteminde, damga basit bir işleme maruz kaldığında kolayca yok edilebilir olarak tasarlanır. Bu yöntem genellikle uydu ve tıbbi görüntüleme alanlarında kullanılır; burada amaç, orijinal veride yapılan değişiklikleri tespit etmek ve verinin bozulup bozulmadığını belirlemektir.

Damganın geri elde edilmesinde eğer görüntünün veya damganın aslı kullanılmıyor ise bu tür yöntemlere “kör damgalama” adı verilir. Eğer görüntünün ya da damganın aslından biri kullanılıyorsa, bu tür yöntemlere “kör olmayan damgalama” denir (Oğuz 2006).

Bu çalışmada dayanıklı kör olmayan damgalama gerçekleştirilmiştir.

### **3.3.3.3. Yarı Saydam Damgalama**

Görünür ya da görünmez damgalamanın yanında sayılabilecek üçüncü bir yöntem ise, görüntünün büyük bir bölümü üzerine, logonun yarı saydam olarak eklenmesidir. Bu yöntemle eklenen logonun görüntüden ayrılması, görüntüyü anlamsız kılacağından avantajlıdır. Ancak görüntüyü kullanıcıya bu şekilde sunmak bir dezavantajdır (Oğuz 2006).

## **3.4. Damgalamanın Kullanım Alanları**

Telif haklarını korumak, doğrulama yapmak, gizli haberleşme yapmak ve imge hakkında açıklayıcı bilgi saklamak için en çok tercih edilen yöntemlerden biri imgenin

içine bir logonun çeşitli yöntemlerle insan gözünün algılayamayacağı şekilde eklenmesidir. Bu işleme damgalama denilmektedir (KİZİR vd.).

Sayısal ses, görüntü ve video gibi medya dosyaları internet ortamında kolayca kopyalanabilir ve değiştirilebilir, bu da telif hakkı ihlallerini artırır. Bu sebeple, telif hakkı koruma önlemleri büyük önem taşır. Sayısal damgalama, bu dosyalara eklenen gizli işaretlerle telif hakkı koruması sağlar. Bu yöntemler, dosyaların arşivlenmesi, yayınlanması, izlenmesi, erişim kontrolü ve bozulma tespiti gibi pek çok işlemde kullanılır. Sayısal damgalama, medya içeriklerinin güvenliği ve bütünlüğü için kritik bir rol oynar, özellikle dijital ortamda yaygın olarak kullanılır (Dogan vd. 2011).

İlk sayısal görüntü damgalama çalışmaları telif haklarını korumayı hedeflerken, sonraki araştırmalar farklı sorunlara da çözüm sunmuştur (ORAL ve FURAT , Wolfgang ve Delp 1996). Sayısal görüntülerde damgalamanın kullanılma alanlarından bazıları aşağıda listelendiği gibidir:

- Telif haklarının korunması (copyright)
- Yasadışı kopyalamaya karşı koruma
- İçerik doğrulama (authentication)
- Bilgi saklama
- Parmak izi onayı

Telif hakkı bilgisinin açıkça gösterilmesi için yapılan damgalama yöntemlerinde bilgi, kolayca fark edilebilecek şekilde eklenir. Bu, televizyon kanallarının veya haber ajanslarının logosu gibi açık damgalarla sağlanabilir. Ayrıca, logonun yarı saydam olarak görüntünün anlamlı bölümüne yerleştirilmesi tercih edilir. Ancak, logonun kırılmasıyla damgalamanın yok edilmesi, görüntünün bütünlüğünü olumsuz etkileyebilir (ORAL ve FURAT).

Telif haklarının korunması için sayısal görüntü ve videolarda sıkça tercih edilen görünmez damgalama yöntemleri, damgalama sonucunda elde edilen ürünün aslıyla arasındaki farkın belli olmaması, kullanılan algoritmanın gizliliği ve bilginin saklandığı yerin anlaşılabilmesi gibi avantajlara sahiptir (Hsu ve Wu 1999).

Damgalama algoritmaları, özellikle video kayıtlarında ürün kopyalamasını izleme ve sınırlama amacıyla önemli rol oynar. Bu yöntemler, telif haklarının korunması ve sayısal içeriğin takibi için etkilidir, izinsiz kopyalamaların tespit edilmesine yardımcı olur (Muharemagic ve Furht 2006).

Sayısal damgalama, sayısal ürünün içeriğindeki en ufak değişiklikleri tespit etmek amacıyla da kullanılabilir. Bu yöntemlerde kırılğan yapılı algoritmalar kullanılır ve damga, herhangi bir değişiklikte bozulur ve bu sayede ürünün değiştirildiği kolayca anlaşılır (Gang ve Ni-Ni 2006).

Tüm bunların yanı sıra bilgi saklama amacıyla da damgalama kullanılabilir. Gizli damgalama yöntemlerinde, damga bilgisi örtülü steganografide olduğu gibi görüntü veya başka bir sayısal veri taşıyıcısı olarak seçilebilir. Bu yöntem, görünmezlik ve sadece alıcı ile gönderenin bildiği algoritma sayesinde güvenli ve gizli iletişim sağlar (ORAL ve FURAT).

### **3.5. Damgaya Karşı Yapılabilecek Saldırıları**

Damgaya yönelik saldırıların amacı, gizli ve dayanıklı bir şekilde damgalanmış damgayı yok etmek ve bu işlemi görüntü kalitesinde fark edilmeyecek düzeyde değişiklik yaparak gerçekleştirmektir (Oğuz 2006).

Bu çalışmada damgalanmış resme 4 farklı saldırı (gürültü ekleme, resim döndürme, sıkıştırma ve keskinleştirme) uygulanmış ve bu saldırılar sonucunda damganın dayanıklılığı test edilmiştir.

#### **3.5.1. Gürültü Ekleme (Tuz-Biber)**

Gizli damgalama işlemleri sonucunda, damgayı taşıyacak olan görüntülerin piksellerinin büyük bir kısmı veya tamamı değişikliğe uğramaktadır. Bu değişiklikler, görüntüdeki her pikselin damga bilgisini taşımasına neden olur. Gürültü ekleme saldırısı, gizli damgalama yöntemlerinin bu özelliğini hedef alarak, görüntü kalitesinde belirgin bir düşüşe yol açmadan piksellerin rastgele artırılması veya azaltılmasıyla gerçekleştirilir. Bu şekilde, görüntüdeki piksellerin yoğunlukları değiştiğinden, damga tanınamaz hale gelir ve bozulur (Oğuz 2006). Çalışmada önerilen yöntem için damgalanmış görüntülere 0.01 varyans değerinde Salt & Paper gürültüsü eklenmiştir.

#### **3.5.2. Döndürme**

Görüntünün döndürülmesi, yatay veya dikey eksen etrafında 180 derece döndürülmesi anlamına gelir. Bu işlem kayıpsız bir şekilde gerçekleştirildiğinde, damgalanmış bir taşıyıcı görüntü yatay veya dikey ekseninde döndürüldüğünde orijinal görüntü kayıpsız bir şekilde geri elde edilebilir. Bu sayede damgalanan bilgi bozulmadan korunur ve kayıpsız bir şekilde geri kazanılabilir (Oğuz 2006).

Çalışmada önerilen yöntem için damgalanmış görüntülere 180 derece açı ile döndürme saldırısı uygulanmış, damganın geri elde edilebilirliği kontrol edilmiştir.

### 3.5.3. JPEG Sıkıştırma

JPEG sıkıştırması, görüntü boyutunu küçültmek için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir ve görüntü kalitesini koruyabilir. Bu yöntem, DCT tabanlı bir blok dönüşüm algoritması kullanır. Yüksek frekanslı bileşenlerin sıkıştırma oranında azaltılmasıyla çalışır. JPEG sıkıştırmasında, damgalı bir görüntüden damganın silinmesi hedeflenir. Eğer damga, taşıyıcı görüntünün yüksek frekans bileşenlerine gizlenmişse, JPEG kayıplı sıkıştırması sonucunda görüntü kalitesinde önemli bir düşüş olmadan damganın tekrar elde edilememesi riski vardır. Çalışmada “Quality, 90” parametresi ile JPEG formatında kayıt işlemi gerçekleştirilmiştir. JPEG sıkıştırma kalitesi 0 ile 100 arasında bir değerle belirlenir. Çalışmada bu değer 90 olarak seçilmiştir. Daha düşük bir kalite değeri, daha fazla sıkıştırma anlamına gelir ve bu da genellikle daha küçük dosya boyutlarına yol açar, ancak görüntünün kalitesinde bazı kayıplara neden olabilir (Oğuz 2006, Yeşilyurt vd. 2012).

### 3.5.4. Keskinleştirme

Keskinleştirme filtreleri, görüntüdeki küçük detayların ve köşelerin daha belirgin hale getirilmesinde kullanılır (Boztoprak 2016). Laplace operatörü de her yönde keskinleştirme yapmaya yarar.

$$L = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{vmatrix} \text{ veya } L = \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -8 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \text{ gibi matrisler kullanılabilir (Holat ve}$$

Kulaç). Bu çalışmada  $L = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{vmatrix}$  matrisi kullanılarak laplace filtresi ile

damgalanmış resim üzerinde keskinleştirme işlemi uygulanarak damga tekrar elde edilmeye çalışılmış ve damganın dayanıklılığı test edilmiştir.

## 4. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada kör olmayan, görünmez damgalama gerçekleştirilmiştir. Çalışmada bilgisayar ortamına aktarılan tıbbi görüntülere, damga olarak tıbbi görüntü raporları gömüldükten sonra damganın geri elde edilmesi için DCT-SVD tabanlı hibrit damgalama tekniğiyle 3 ayrı yöntem kullanılmıştır. Farklı tıbbi görüntü ve raporlar kullanılarak seçilen ölçekleme değeri için değişen PSNR, MSE, NC ve SSIM değerleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucu elde edilen tüm bulgular “ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE ÖNERİLER” bölümünde sunulmuştur.

### 4.1. Kullanılan Görüntüler

Kullanılan yöntemlerin test aşamasında; 10 adet vertebra, 2 adet abdomen ve 1 adet kafa grafisi olmak üzere toplam 13 adet tıbbi görüntü taşıyıcı olarak kullanılırken 2 adet rapor ise damga olarak kullanılmıştır. Taşıyıcı görüntü olan tıbbi görüntüler sırasıyla I1, I2, I3, I4, I5, I6, I7, I8, I9, I10, I11, I12 ve I13 şeklinde adlandırılırken damga görüntü olan raporlar W1 ve W2 olarak adlandırılmıştır. Tüm resimler 512x512 boyutlarında olup gri seviyededir. Taşıyıcı görüntüler tıbbi görüntüleme bilgilerini saklamak, paylaşmak ve iletmek için kullanılan bir standart olan DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine) formatındadır. Kullanılan damga ve taşıyıcı resimler Çizelge 1’de sunulmuştur.

Bu çalışmada kullanılan taşıyıcı resimler, tıbbi görüntüleme alanında yaygın olarak kullanılan çeşitli teknolojilerden seçilmiştir. Her bir teknolojinin farklı özellikleri ve uygulama alanları bulunmaktadır:

- Kafa grafisi: Bilgisayarlı Radyografi (Computed Radiography, CR)
- 2 adet abdomen: Ultrasonografi (Ultrasonography, US)
- 10 adet vertebra: Manyetik Rezonans Görüntüleme (Magnetic Resonance Imaging, MRI)

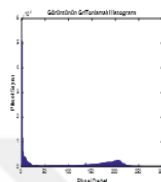
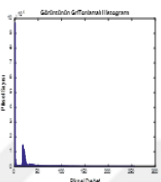
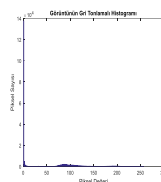
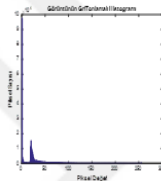
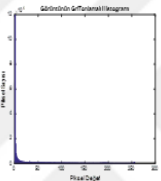
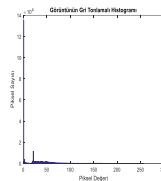
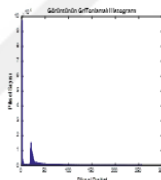
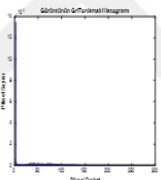
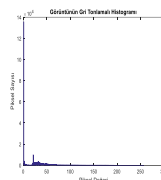
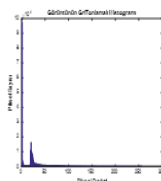
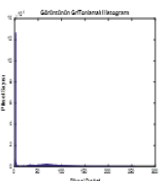
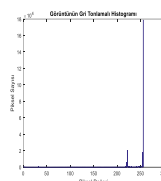
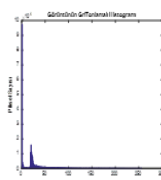
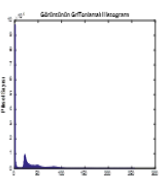
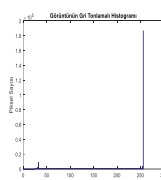
Ultrasonografi, ses dalgaları kullanarak iç organların görüntülenmesini sağlayan bir yöntemdir. Abdomen ultrasonografisi, karın bölgesindeki organların incelenmesi için kullanılır. Bu çalışmada, abdomen görüntüleri US teknolojisi ile elde edilmiştir.

Bilgisayarlı Radyografi, X-ışınları kullanarak yüksek çözünürlüklü görüntüler elde eden bir teknolojidir. Kafa grafileri, kafatası ve beyin dokularının detaylı

incelenmesi için sıklıkla kullanılır. Bu çalışmada, kafa grafisi CR teknolojisi ile elde edilen görüntüler taşıyıcı resim olarak kullanılmıştır.

Manyetik Rezonans Görüntüleme, manyetik alan ve radyo dalgaları kullanarak vücudun iç yapısını ayrıntılı bir şekilde görüntüleyen bir tekniktir. Bu çalışmada kullanılan vertebra görüntüleri, omurganın detaylı incelenmesi için MRI teknolojisi ile elde edilmiştir.

Çizelge 1. Kullanılan damga ve taşıyıcı resimler

Resim	Histogram	Resim	Histogram	Resim	Histogram
11		16		I11	
12		17		I12	
13		18		I13	
14		19		W1	
15		I10		W2	

#### 4.2. SVD Tabanlı İmge Damgalama

Damgalamada dayanıklılık, damganın taşıdığı enerjinin artırılmasıyla sağlanır. Ancak enerjinin artırılması görüntü kalitesi ile ters orantılıdır. Damga çalışmasında insan görüş özelliklerine göre algısal olarak görülmeyen damga, daha fazla enerjili halde görüntü içerisine gömülür (Oğuz 2006). Bu aşamada SVD metodu etkili bir metot olarak kullanılmaktadır.

SVD, gerçek bir matris üzerinde gerçekleştirilebilir bir lineer cebir metodudur. Rankı  $r$ , satır sayısı  $m$ , sütun sayısı  $n$  olan bir  $A$  matrisini düşünürsek; bu yöntemin elimizdeki matrisi, Eşitlik 1’de gösterildiği gibi 3 ayrı matrise ayırır (Tuncer 2017).

$$A = U * S * V^T \quad (1)$$

Burada  $U$   $m \times m$  ve  $V^T$   $n \times n$  boyutunda ortogonal matrislerdir. Ortogonal matrisin sütunlarını oluşturan vektörler birbirine diktir. Yani  $U^T=U^{-1}$  ve  $V^T=V^{-1}$  ( $U^T U=I$  ve  $V^T V=I$ ) dir.  $S$  ise  $m \times n$  boyutlarında bir köşegen matristir. Köşegen elemanları dışındaki elemanların değerleri sıfır olan  $S$  matrisi,  $A$  matrisinin tekil değerleri olarak adlandırılır. ( $s=\text{diag}(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_r)$ ).  $A$  matrisinin rankı  $r$  ise ( $s=\text{diag}(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_r)$ ) değeri  $\beta_1 \geq \beta_2 \geq \dots \beta_r \geq \beta_{r+1} = 0$ ) özelliğini sağlar (Dogan vd. 2011).

$S$  matrisinin köşegen elemanları  $A$  matrisinin singüler (tekil) değerleridir. Bu değerler  $\beta_i = \sqrt{\lambda_i(A^T A)}$  dir.  $U$  matrisi,  $A$  matrisinin sol tekil vektörlerini içerirken,  $V$  matrisi  $A$  matrisinin sağ tekil vektörlerini içerir. Buradaki işleme Tekil Değer Çıkarma denir ve Eşitlik 2’deki gibi ifade edilir.

$$A = \sum_{i=0}^r \beta_i u_i v_i^T \quad (2)$$

Burada  $r$ ,  $A$  matrisinin rankıdır.

$A$  matrisi rankının,  $A$  ’nın sıfırdan farklı singüler değerlerin sayısına eşit olması SVD ‘nin en önemli özelliğidir. Bu özellik imgedeki gürültülerin azalmasına veya küçük singüler değerlerin elenmesi ile matris verisinin sıkıştırılmasına izin vererek insan görme sistemi temelinde birçok uygulamada kullanılır. SVD ‘nin bir diğer önemli özelliği ise tekil değerleri ( $S$  matrisindeki değerler) tektir ama  $U$  ve  $V$  matrisleri tek değildir. Resim sıkıştırma (image compression), kenar tespiti (edge detection) ve gürültü azaltma (noise reduction) gibi uygulamalarda bu yöntem öne çıkmaktadır (Tuncer 2017).

$S$ , matrisin tekil değerleri hariç diğer satırları 0 olarak bulunur. Bu özellik sayesinde SVD ile singüler değerler değiştirilerek damga imge içine gömülmektedir.

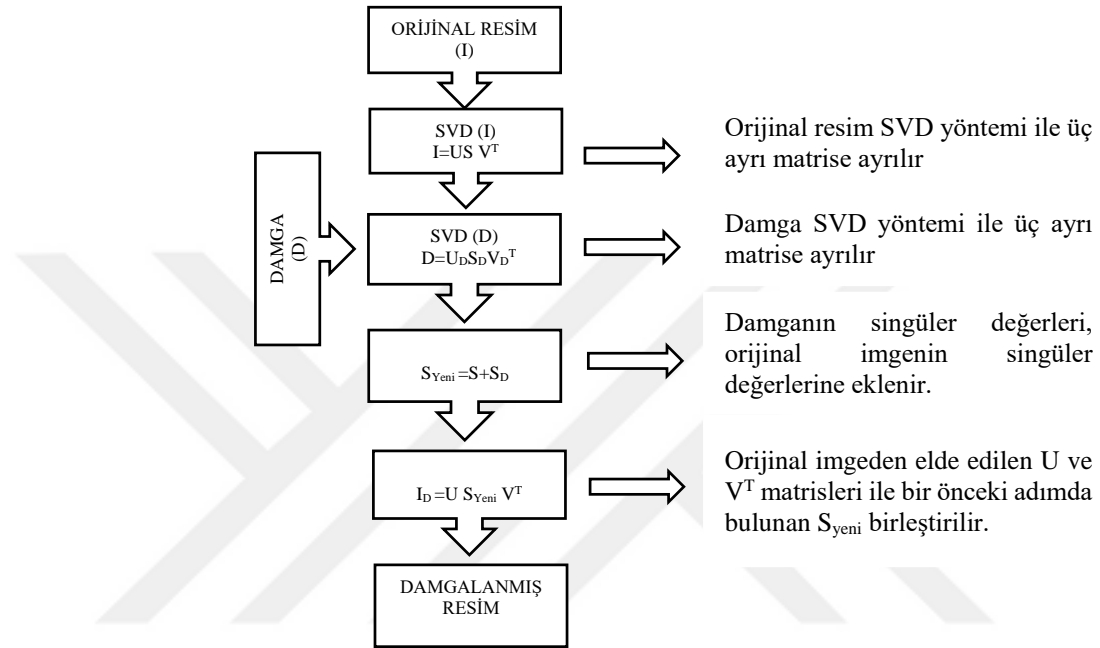
SVD’nin hesaplanmasını bir  $A$  matrisini kullanarak örneklendirecek olursak;

$$A = \begin{bmatrix} 5 & 3 \\ 7 & 8 \end{bmatrix} \text{ matrisinin SVD’si hesaplandığında;}$$

$$U = \begin{bmatrix} 0,47 & -0,88 \\ 0,89 & 0,47 \end{bmatrix}, S = \begin{bmatrix} 12,02 & 0 \\ 0 & 1,58 \end{bmatrix} \text{ ve } V^T = \begin{bmatrix} 0,71 & 0,7 \\ -0,71 & 0,71 \end{bmatrix} \text{ olarak bulunur ve}$$

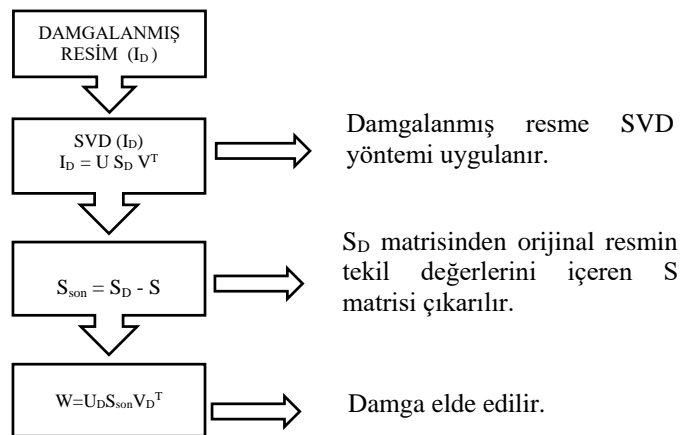
$A = U * S * V^T = \begin{bmatrix} 0,47 & -0,88 \\ 0,89 & 0,47 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 12,02 & 0 \\ 0 & 1,58 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0,71 & 0,7 \\ -0,71 & 0,71 \end{bmatrix}$  olarak ifade edilebilir. Burada  $\sigma_1=12,02$  ve  $\sigma_2=1,58$  bize tekil değerleri verir.

Yukarıda görüldüğü gibi matrisinin tekil değerleri hariç diğer satırları 0 olarak bulunur. Bu özellik sayesinde Tekil Değer Ayrışımı ile singüler değerler değiştirilerek damga imge içine gömülmektedir (Kashyap ve Sinha 2012).



Şekil 3. SVD tabanlı damga ekleme işlemi blok şeması

SVD kullanılarak damganın geri elde edilmesi işleminin blok şeması ise Şekil 4' te sunulmuştur.



Şekil 4. SVD tabanlı damga çıkarma işlemi blok şeması

Damganın çıkarılmasında telif hakkını elinde tuttuğunu iddia eden kişinin elindeki orijinal imge ile damgalandığı iddia edilen test imgesi üzerinde fark alma işlemleri yapılarak (ataklara maruz kalmış olsa dahi) damga geri elde edilebilmektedir (Uçak).

#### 4.2.1. DCT-SVD Tabanlı Damgalama

DCT, DFT, DWT gibi frekans tabanlı yöntemler damgalanmış resmin dayanıklılığının artırılması için kullanılan yöntemlerdir. Resim düşük, orta ve yüksek frekanslar olarak üç parçaya bölünür (Cox vd. 1997, Piva vd. 1997).

DCT genellikle JPEG ve MPEG gibi sayısal medyaların kayıplı sıkıştırılması için kullanılan bir tekniktir. DCT bir imgenin veya videonun orta ve yüksek frekanslar olarak bölümlere ayrılmasını sağlar. Bir başka deyişle bir medyayı oluşturan frekansları önemlilik ölçütüne göre ayrıştırır. Bu dönüşüm kullanılarak yapılan sıkıştırma işlemi medyayı en az etkileyen yüksek frekanslı değerlerin sıfırlanması ile yapılır. DCT ile imgelerin kosinüs katsayıları bulunup bunlardan yüksek frekanslı olanların çoğu atılarak ters dönüşüm yapıldıktan sonra resmin büyük miktarda korunduğu görülür (Aslantaş vd. 2006). Bu çalışmada, öncelikle orijinal resme iki boyutlu DCT uygulanarak resmin frekans bileşenleri elde edilir. Elde edilen katsayılara SVD uygulanır. Sonrasında, damga resmin tekil değerleri de belirli bir ölçekleme değeri ( $\gamma k$ ) ile çarpılıp orijinal resmin DCT katsayılarının tekil değerlerine eklenir. Daha sonra SVD ve DCT işlemlerinin tersi sırasıyla uygulanarak damgalı resim elde edilir.

Literatürde DCT kullanılarak geliştirilen yöntemlerin en büyük avantajı, JPEG kuantalama tablosunun insan görme sistemine uygun yapıda olması ve DCT' nin yalnızca kosinüs terimlerini kullanarak kompleks bileşenler içermemesidir (YEŞİLYURT vd.). DCT, DFT'ye benzeyen ancak sadece gerçel sayıları kullanan bir dönüşümdür. DCT 'nin Eşitlik 3'te matematiksel formülü verilmiştir.

$$C(u, v) = \alpha(u)\alpha(v) \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \cos \left[ \frac{\pi(2x+1)u}{2N} \right] \cos \left[ \frac{\pi(2y+1)v}{2N} \right] \quad (3)$$

Dönüşümün tersi ise Eşitlik 4'teki gibidir.

$$f(x, y) = \sum_{u=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{N-1} \alpha(u)\alpha(v) C(u, v) a \cos \left[ \frac{\pi(2x+1)u}{2N} \right] \cos \left[ \frac{\pi(2y+1)v}{2N} \right] \quad (4)$$

Eşitlikteki;

- $\alpha(u)$  ve  $\alpha(v)$  : Normalizasyon katsayılarıdır ve genellikle  $\alpha(u)$  ve  $\alpha(v)$  Eşitlik 5'te verilen denklemden hesaplanır:

$$\alpha(k) = \begin{cases} \sqrt{\frac{1}{N}}, & k = 0 \\ \sqrt{\frac{2}{N}}, & k \neq 0 \end{cases} \quad (5)$$

- $C(u,v)$  : DCT katsayılarını temsil eder. Bu katsayılar, orijinal veri matrisinin frekans bileşenleridir.
- $f(x,y)$  : Giriş sinyali veya görüntü matrisinin  $(x,y)$  noktasındaki değeri.
- $N$  : İşlem yapılan matrisin her iki boyutundaki (sıra ve sütun) eleman sayısını ifade eder.
- $\cos\left[\frac{\pi(2x+1)u}{2N}\right]$  ve  $\cos\left[\frac{\pi(2y+1)v}{2N}\right]$  : Kosinüs terimleri olup, DCT'nin temel fonksiyonlarını oluşturur. Bu terimler, orijinal veri noktalarını frekans bileşenlerine dönüştürmek için kullanılır (Kurban ve Bozpolat 2022).

### 4.3. DCT-SVD Tabanlı Hibrit Damgalama Yöntemleri

Çalışmada, DCT-SVD tabanlı hibrit damgalama tekniği kullanılarak 3 yöntem kıyaslanmıştır.

1. Yöntemde damga, damga ile aynı boyuttaki taşıyıcı görüntünün üzerine damgalanmıştır. Damgalama işlemi DCT-SVD tabanlı hibrit damgalama tekniği kullanılarak gerçekleştirilmiştir.
2. Yöntemde taşıyıcı görüntü 4x4 lük 16 adet bloğa ayrılmıştır, her bir blok boyutundaki damga ayrı ayrı tüm bloklara DCT-SVD tabanlı hibrit damgalama tekniği ile damgalanmıştır.
3. Yöntemde taşıyıcı görüntünün ilgisiz bölgelerine damganın eklenmesi amacıyla (taşıyıcı görüntüdeki ilgili bölgelere siyah renk gelecek şekilde) damga, bölünmeye uygun şekilde yeniden boyutlandırılıp, damga ile aynı boyuttaki taşıyıcı görüntünün üzerine DCT-SVD tabanlı hibrit damgalama tekniği ile işlenmiştir.

Karşılaştırma yapılan yöntemlerin üçünde de DCT-SVD tabanlı bir damgalama söz konusudur. Yöntemler arasındaki farklılıklar kullanılan görüntülerin boyutları ve damgalama konumlarına göre ortaya çıkmaktadır.

### 4.3.1. Yöntem 1: Eş Boyutlu Taşıyıcı Görüntü ve Damga

Bu yöntem, damganın doğrudan taşıyıcı görüntünün tamamına uygulanmasını ve her iki görüntünün aynı boyutta olmasını gerektirir. Taşıyıcı görüntü ve damga olarak kullanılan resimler 512x512 boyutlarında gri seviye görüntülerdir. Taşıyıcı görüntü ve damganın temsili gösterimi Şekil 5'teki gibidir.



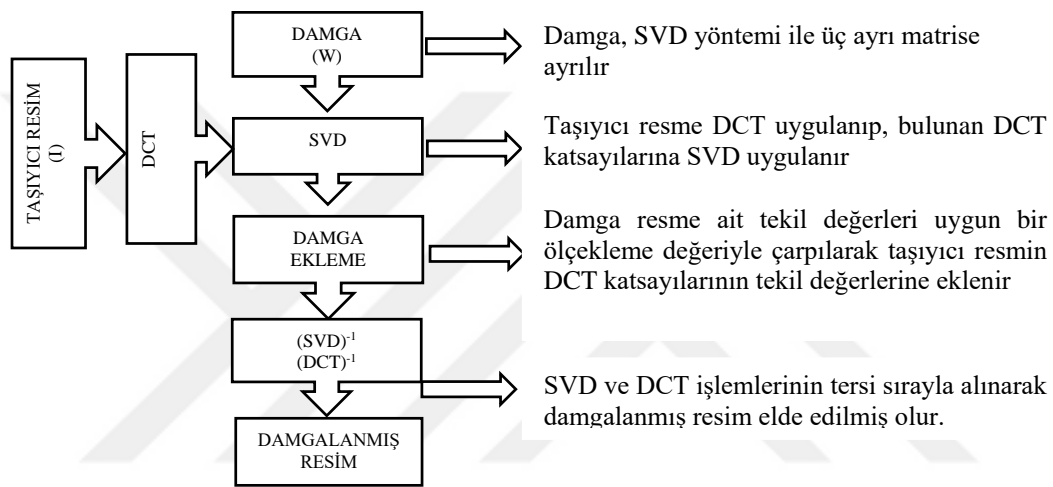
Şekil 5. Yöntem 1 için taşıyıcı görüntü ve damganın temsili gösterimi

Yöntem 1 'de öncelikle her iki görüntünün gri seviye formatında olup olmadığı kontrol edilir. Eğer görüntüler RGB (Red-Green-Blue) formatında ise, 'rgb2gray' fonksiyonu kullanılarak gri seviyeye dönüştürülür. Bu adım, görüntü işleme sürecinde hesaplamaların sadeliği ve verimliliği için gereklidir. Görüntülerin double formatına dönüştürülmesi ise 'im2double' fonksiyonu ile gerçekleştirilir. Bu dönüşüm, görüntü verilerini 0 ile 1 arasında normalize eder, böylece matematiksel işlemler daha hassas hale gelir. Bu adımın ardından, taşıyıcı görüntü ve damga görüntüleri hazır hale gelir ve damgalama işlemi için kullanılmaya başlanabilir. Bu süreçte, görüntülerin boyutlarının ve formatlarının uyumlu hale getirilmesi, sonraki adımlarda yapılacak olan DCT ve SVD işlemlerinin doğru ve tutarlı sonuçlar vermesini sağlar.

Damga ekleme işlemi esnasında öncelikle taşıyıcı görüntüye iki boyutlu DCT uygulanır. DCT ile elde edilen katsayılar, SVD yöntemi ile ayrıştırılır. Bu işlem, görüntü verilerini daha küçük bileşenlere ayırarak, verinin önemli özelliklerini daha iyi anlamamızı sağlar. Sonrasında damga görüntüsüne de aynı şekilde SVD uygulanır. SVD, hem taşıyıcı görüntü hem de damga görüntüsü için uygulanarak, her iki görüntünün de tekil değerleri ve ortogonal matrisleri elde edilir. Bu matrisler, damganın taşıyıcı görüntüye entegre edilmesi sürecinde kullanılır. Damganın tekil değerleri, uygun bir ölçekleme faktörü ile (örneğin, 0.01) çarpılarak taşıyıcı görüntünün DCT katsayılarının tekil değerlerine eklenir. Bu işlem, damganın görüntüye entegre edilmesini sağlar. Burada

kullanılan ölçekleme faktörü, damganın görüntüde görünür olmasını engelleyecek kadar küçük, ancak çıkarılabilir olmasını sağlayacak kadar büyük bir değerdir. Ölçekleme faktörünün seçimi, hem damganın görünürlüğünü kontrol eder hem de çıkarılabilirliğini sağlar. Son olarak damgalı görüntüyü elde etmek için ters SVD ve ters DCT işlemleri gerçekleştirilir. Bu adımlar, orijinal taşıyıcı görüntü ve damga bileşenlerinin yeniden birleştirilmesini sağlar. Ters işlemler, orijinal görüntü verilerini geri getirerek damgalı görüntüyü oluşturur.

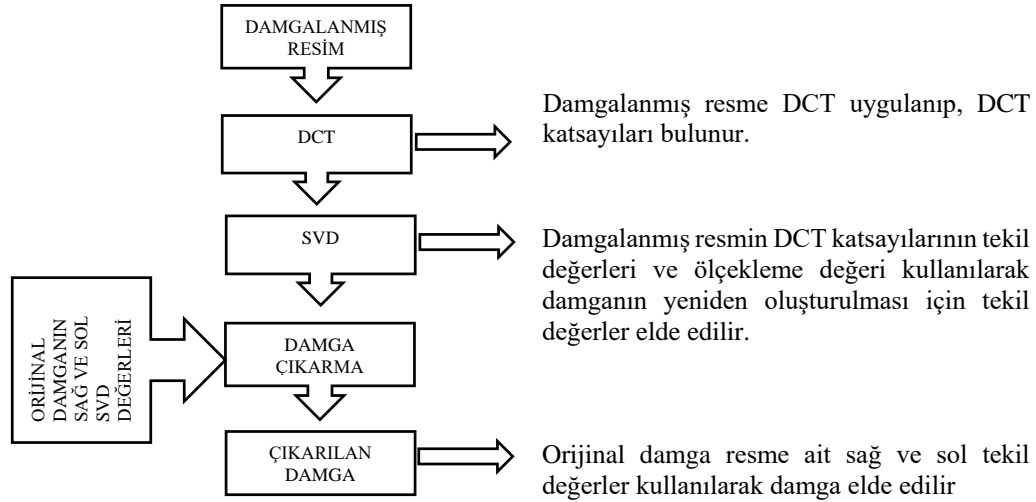
Yöntem 1 için damga ekleme esnasında yapılan bu işlemlerin şeması Şekil 6' da gösterilmiştir.



Şekil 6. Yöntem 1 için DCT-SVD tabanlı hibrit damgalama tekniği damga ekleme işlemi blok şeması

Damga çıkarma işleminde ise, damgalanmış görüntüye DCT uygulanıp, damgalanmış görüntünün DCT katsayılarına SVD uygulanır. Bu adım, damgalı görüntünün frekans bileşenlerine ayrılmasını ve tekil değerlerinin elde edilmesini sağlar. Damgalanmış resmin DCT katsayılarının tekil değerleri ve ölçekleme değeri kullanılarak damganın yeniden oluşturulması için tekil değerler elde edilir. Bu işlem, damgalı görüntüden damganın ayrıştırılmasını sağlar. Damganın yeniden oluşturulması için, damganın tekil değerleri, taşıyıcı görüntünün tekil değerlerinden çıkarılır ve ölçekleme faktörü ile bölünür. Son olarak damga resme ait sağ ve sol tekil değerler kullanılarak damga elde edilir.

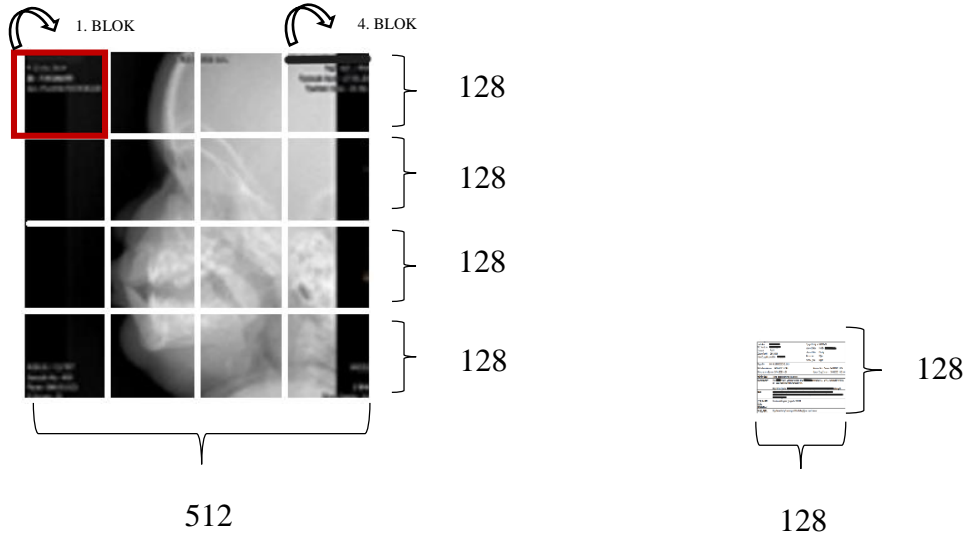
Yöntem 1 için damganın geri elde edilmesi esnasında yapılan bu işlemlerin şeması Şekil 7' de gösterilmiştir.



Şekil 7. Yöntem 1 için DCT-SVD tabanlı hibrit damgalama tekniği damga çıkarma işlemi blok şeması

#### 4.3.2. Yöntem 2: Blok Tabanlı Taşıyıcı Görüntü ve Damga

Yöntem 2, taşıyıcı görüntünün bloklara ayrılması ve her bir bloğun ayrı ayrı damgalanması prensibine dayanmaktadır. Bu yöntemde de Yöntem 1’ de olduğu gibi, işlemlerimiz öncelikle taşıyıcı görüntünün ve damganın seçimi ile başlamaktadır. Burada taşıyıcı görüntü 512x512 boyutlarında gri seviyede bir resimken damganın boyutu ayrılan bloklara göre değişiklik gösterip, taşıyıcı görüntünün her bir bloğuna uygun şekilde boyutlandırılır. DCT alanına dönüşüm yapılırken genellikle 8x8 bloklar kullanılmaktadır (ÜSTÜBİOĞLU ve ULUTAŞ , Şenol 2018). Ancak bu çalışmada damga bilgisinin çok fazla küçülüp tamamen anlaşılabilir olmasını engellemek amacıyla orijinal imgeyi 128x128 boyutlarında 4x4 lük bloklara bölerek işlemler uygulanmıştır. Taşıyıcı görüntü ve damganın temsili gösterimi Şekil 8’de detaylı olarak gösterilmiştir.



Şekil 8. 2. yöntem için taşıyıcı görüntü ve damganın temsili gösterimi

Her bir bloğa ait piksel değerlerinin DCT katsayıları elde edildikten sonra Yöntem 1’ de olduğu gibi aynı teknikle bu katsayılar SVD uygulanarak damga ekleme işlemi gerçekleştirilir. Yine ilk yöntemde olduğu gibi damga çıkarma işlemi istenilen bloğa uygulanır.

Yöntem 2 için işlem adımlarını sırasıyla detaylandırırsak:

- Adım 1: Taşıyıcı görüntü ve damga seçimi ile işleme başlanır. Yöntemde kullanılan taşıyıcı görüntü, genellikle 512x512 piksel boyutlarında ve gri seviyeli bir resim olarak seçilir. Eğer bu şekilde değilse gri seviyeye dönüştürülür ve 512x512 boyutlarına getirilir. Damga ise taşıyıcı görüntü bloklarının boyutlarına uygun şekilde ayarlanır. Damga resmi gri seviyeye dönüştürülür ve 128x128 boyutlarına yeniden boyutlandırılır. Çünkü bu çalışmada, blok boyutu 128x128 piksel olup, bu bloklar 4x4'lük küçük bloklara bölünmüştür.
- Adım 2: Bloklara ayırma ve DCT-SVD uygulamasının yapılması ile işleme devam edilir. Taşıyıcı görüntü, belirtilen blok boyutuna göre (128x128 pikselde 4x4 bloklar) ayrılır. Her blok için DCT uygulanarak bloğun frekans domainindeki temsili elde edilir. DCT, bloğun içerdiği bilginin frekans bileşenlerini ortaya çıkarır. DCT sonrasında elde edilen katsayılar üzerinde SVD uygulanır. SVD, bir matrisi üç temel bileşene ayırarak (U, S, V) matrisin temel yapı taşlarını ortaya koyar. Bu adım, bloğun içeriğini daha düşük boyutlu ve daha anlamlı bileşenlere ayırır. Daha sonra damga resminin SVD işlemi yapılır.

- Adım 3: Adım 1 ve Adım 2 ‘deki işlemler tamamlandıktan sonra artık damgalama sürecine geçilebilir hale gelmiştir. Her bir blok için damga bilgisi, önceden belirlenmiş bir ölçekleme faktörü ile SVD sonucuna eklenir. Bu işlem, taşıyıcı görüntünün her bir bloğuna damganın güvenli bir şekilde eklenmesini sağlar. Damga bilgisi, bloğun SVD bileşenlerine entegre edilir ve orijinal görüntüye zarar vermeden gizlenir.
- Adım 4: Damgalı bilgi eklendikten sonra, her blok için ters SVD ve ters DCT işlemleri uygulanarak tamamen damgalı bir görüntü elde edilir. Bu adım, orijinal taşıyıcı görüntü üzerindeki değişiklikleri tersine çevirerek, damgalı görüntünün oluşturulmasını sağlar.
- Adım 5: Damganın çıkarılması işlemi, damgalı görüntünün her bloğu için gerçekleştirilir. Damgalı görüntünün DCT katsayıları ve SVD’si kullanılarak, ilk bloğun damgalı bilgisi çıkarılır. Bu süreçte, damgalı bloğun SVD’ si ile orijinal bloğun SVD’ si arasındaki fark kullanılarak damga bilgisi elde edilir. İlk blok için, damgalı ve orijinal görüntüler arasındaki fark hesaplanarak damga bilgisi çıkarılır. Bu adım, orijinal taşıyıcı görüntünün doğruluğunu ve bütünlüğünü koruyarak, damganın çıkarılmasını sağlar.

#### **4.3.3. Yöntem 3 (Önerilen Yaklaşım): Bölünmüş Damganın İlgisiz Alanlara Eklenmesi**

Yöntem 3 için taşıyıcı resim ve damga diğer yöntemlerde de olduğu gibi başlangıçta 512x512 boyutlarında gri seviye resimlerden seçilmiştir.

Bu yöntemin geliştirilmesindeki öncelikli motivasyon damgalama işlemine tabi tutulan tıbbi görüntülerdeki bozulmanın minimize edilmesidir. Yöntem 1 de formülleri ile detaylı olarak sunulan DCT-SVD tabanlı hibrit damgalama çalışmasının başarısı incelenmiş ve olumlu çıktıları sunulmuştur. Yöntem 1’ in üzerine yapılacak olan geliştirmelerle tıbbi görüntülerde daha iyiye ulaşmak tez çalışmamızın hedefi olmuştur. Çalışmanın benzeri girişimler yöntem 2 de verildiği gibi farklı makalelerde konu edilmektedir. Bu makaleler çalışmamızın çıkış noktasını oluşturmaktadır. Çalışmanın yenilikçi tarafı tıbbi görüntülerin ortak özelliği olan ölü bölgelerin otomasyon ile kullanılmasını sağlayan bir damgalama çalışmasının literatüre kazandırılması olmuştur. Oluşturulan algoritma sayesinde tıbbi görüntülerin ölü bölgeleri seçilip damga resmi bu ölü bölgelere gömülebilmektedir. Bu sayede ne damgalanan resim ne de damgalamaya maruz bırakılan görüntü çıkartıldıktan sonra işlevinde kayıplar yaşamamaktadır. Bizim

açımızdan bu çalışmanın en önemli çıktısı hasta gizliliği içeren raporların görüntü içerisine gömülmesi konusunda getireceği faydalardır.

Yöntem temel olarak aritmetik matris işlemlerini kullanmaktadır. Tıbbi görüntü, gri düzlemde incelenirken dikey ekseninde siyah (ölü bölge) ve beyaz (anlamli resim) bölgelerde geçişlere sahiptir. Standart tıbbi görüntülerde isim, soy isim, tarih yazılması için ayrılmış bu ölü alanlar çok daha faydalı bir amaç ile hasta raporlarının bozulmaya mahal vermeden damgalanması için kullanılabilir.

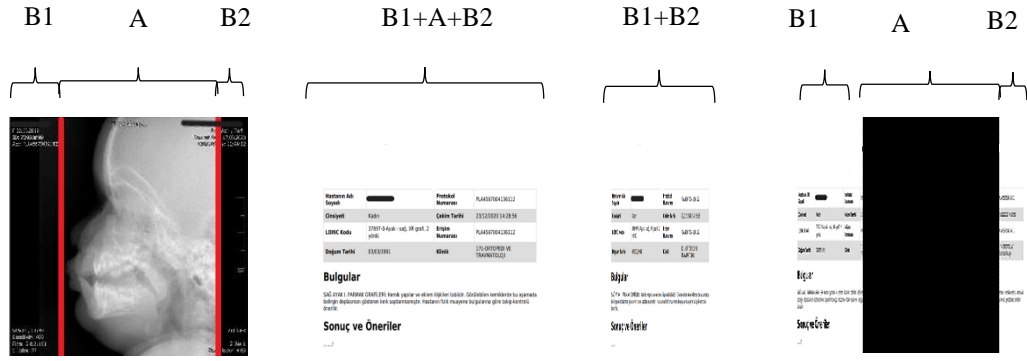
Özetle, Yöntem 1'in başarısı üzerine geliştirilen Yöntem 3, tıbbi görüntülerdeki ölü bölgelerin, yani anlam taşımayan siyah alanların damgalama sürecinde kullanılmasını önermektedir. Bu alanlar genellikle hasta raporlarının yazılacağı yerler olarak ayrılmıştır ve damgalama sürecinde verinin bozulmasını minimize etmek için ideal bir zemin sunmaktadır. Önerilen yaklaşımın çalışma adımları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

7. Adım 1: İşlemlere tıbbi görüntü ve raporun hazırlığı ile başlanır. Tıbbi görüntü ve damgalanacak rapor alınır ve gri tonlamalı hale getirilir. Bu adım, görüntünün RGB formatında olup olmadığını kontrol eder eğer tıbbi görüntü RGB formatındaysa, `rgb2gray` fonksiyonu ile gri tonlamaya dönüştürülür.
8. Adım 2: Sütun bazında toplama matrisi oluşturularak işlemlere devam edilir. `matrix\_list` adında bir matris oluşturulur ve her bir sütunun toplam değeri bu matrise eklenir. Bu işlem, tıbbi görüntünün sütun bazında toplamını hesaplamak için kullanılır.
9. Adım 3: Threshold değerleri belirlenir. Sütun bazında threshold değerleri (`val\_high` ve `val\_low`) belirlenir. Tıbbi görüntü üzerinde damgalama işlemine başlamadan önce, damgalamanın yapılacağı taşıyıcı görüntüdeki anlamli ve ölü bölgelerin sınırlarını belirlemek önemlidir. Bu sınırlar, damga işlemi sırasında hangi bölgelere raporun entegre edileceğini yani damgalanacak raporun tıbbi görüntü üzerindeki konumunu belirlemek için kullanılır. Ayrım çizgileri anlamli bölge ile ölü bölgenin başlangıcında ve sonunda tespit edilir. Resim 2 de kırmızı ile belirtilen çizgiler başlangıçtaki ve sondaki çizgiyi ifade etmektedir.
10. Adım 4: Orijinal boyutlardaki hasta raporu görüntüsü ile tıbbi görüntü aynı boyutlara getirilir. Tespit edilen çizgilerle birlikte baş ve son çerçeve çizgilerine göre damgalanacak hasta raporunun yeniden boyutlandırılması yapılır (Resim 2 – B1 ve B2 bölgeleri). Bu adım, damganın taşıyıcı görüntü üzerinde doğru bir şekilde konumlandırılabilmesi için gereklidir. Aynı zamanda, ölü bölgelerin yerleşimine uygunluk sağlamak amacıyla boyutlandırma işlemi yapılır. Burada, `imresize`

fonksiyonu kullanılarak `gomulecek\_rapor` görüntüsü, `Hei` (yükseklik) ve `(Len - (val\_high - val\_low))` (genişlik) boyutlarına yeniden boyutlandırılır. `Len - (val\_high - val\_low)` ifadesi, sütun bazında belirlenen threshold değerlerine göre boyutlandırmayı sağlar. Bu sayede, raporun taşıyıcı görüntü üzerinde doğru konumlandırılması için gerekli hazırlık yapılır.

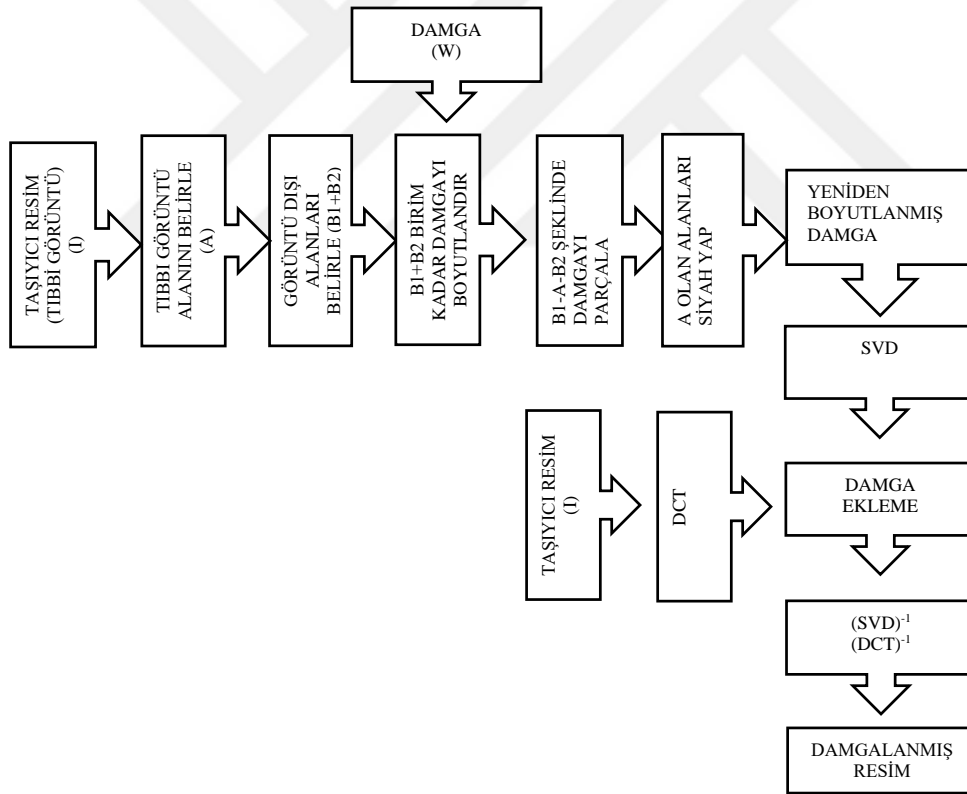
11. Adım 5: Yeniden boyutlandırılan hasta raporu orta alanı siyah bırakılacak şekilde tıbbi görüntü ile damgalanmaya hazır olarak boyutlandırılarak yeni bir görüntü oluşturulur. Sonuçta yazıları okunaklı orta alanı siyah bir hasta raporu görseli ve tıbbi görüntü görseli Yöntem 1' de olduğu gibi damgalama ve çıkartma işlemine hazır hale getirilir. Damga, belirlenen başlangıç ve son çizgilerine göre siyah bölgelere (ölü bölgeler) yerleştirilirken beyaz bölgeler (anlamlı resim) korunur. Bu işlem, hasta bilgilerinin güvenliğini sağlamak ve taşıyıcı görüntünün bütünlüğünü korumak adına kritik öneme sahiptir.
12. Adım 6 : `dct2` fonksiyonu ile tıbbi görüntüye iki boyutlu DCT uygulanır. Daha sonra DCT' si alınmış tıbbi görüntüye SVD işlemi uygulanır.
13. Adım 7: Bölünüp yeniden boyutlandırılarak oluşturulan yeni damgaya SVD işlemi uygulanır. Her iki görüntünün de tekil değerleri ve ortogonal matrisleri elde edilmiş olur.
14. Adım 8: Damganın tekil değerleri, uygun bir ölçekleme faktörü ile (örneğin, 0.01) çarpılarak taşıyıcı görüntünün DCT katsayılarının tekil değerlerine eklenir. Bu işlem, damganın görüntüye entegre edilmesini sağlar. Burada kullanılan ölçekleme faktörü, damganın görüntüde görünür olmasını engelleyecek kadar küçük, ancak çıkarılabilir olmasını sağlayacak kadar büyük bir değerdir. Ölçekleme faktörünün seçimi, hem damganın görünürlüğünü kontrol eder hem de çıkarılabilirliğini sağlar.
15. Adım 9: Son olarak damgalı görüntüyü elde etmek için ters SVD ve ters DCT işlemleri gerçekleştirilir. Bu adımlar, orijinal taşıyıcı görüntü ve damga bileşenlerinin yeniden birleştirilmesini sağlar. Ters işlemler, orijinal görüntü verilerini geri getirerek damgalı görüntüyü oluşturur.

Önerilen yöntem (3. yöntem ) için taşıyıcı görüntünün ve damganın elde edilmesinin temsili gösterimi Şekil 9'da detaylı şekilde sunulmuştur.



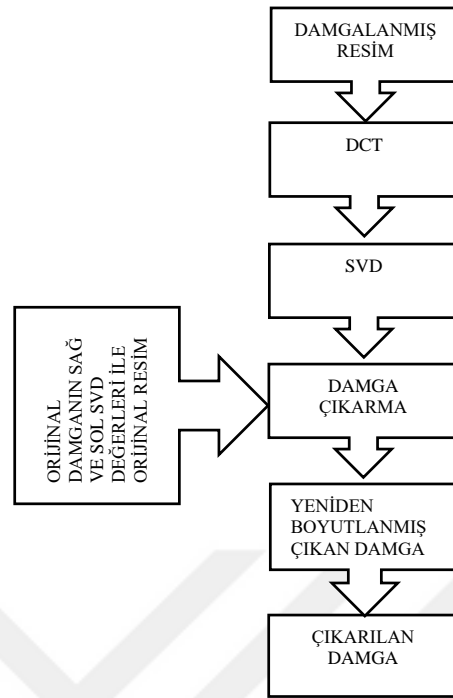
Şekil 9. Önerilen yöntem (3. yöntem) için taşıyıcı görüntünün ve damganın elde edilmesinin temsili gösterimi

Bölünmüş damganın, taşıyıcı görüntü üzerine DCT-SVD tabanlı hibrit damgalama tekniği kullanılarak eklenmesi işleminin blok şeması Şekil 10'da gösterilmiştir.



Şekil 10. Önerilen yöntem (3. yöntem) için damga ekleme işlemi blok şeması

Yöntem 3 için damganın geri elde edilmesi esnasında yapılan işlemlerin şeması Şekil 11' de gösterilmiştir.



Şekil 11. Önerilen yöntem (3. yöntem ) için damga çıkarma işlemi blok şeması

Bu çalışmada önerilen yaklaşım olan Yöntem 3, literatürdeki mevcut çalışmalarla karşılaştırıldığında önemli yenilikler sunmaktadır. Literatürde, dijital görüntü damgalama teknikleri genellikle görüntülerin tamamı üzerinde işlem yaparak damgayı gizlerken, önerilen yöntemde tıbbi görüntülerin özel karakteristikleri dikkate alınarak daha etkili bir damgalama süreci geliştirilmiştir. Bu yenilikçi yaklaşımın literatürdeki çalışmalardan farkları ve katkıları şu şekildedir:

Literatürdeki birçok damgalama çalışması, tüm görüntü üzerinde işlem yaparak damgayı gizlemeye çalışır. Ancak, bu çalışmalar genellikle tıbbi görüntülerin özelliklerini göz ardı eder. Önerilen yöntemde, tıbbi görüntülerin anlam taşımayan siyah alanları (ölü bölgeler) belirlenmiş ve damgalama işlemi bu bölgelerde gerçekleştirilmiştir. Bu sayede, damga işlemi görüntünün anlamlı (beyaz) bölgelerinde minimum seviyede bozulmayla yapılabilmektedir.

Tıbbi görüntülerde damgalama yapılırken, hasta gizliliğini korumak büyük önem taşır. Literatürdeki bazı çalışmalar, görüntülerin bozulmasına ve dolayısıyla hasta bilgilerine erişimin zorlaşmasına neden olabilir. Önerilen yöntem, hasta bilgilerinin yer aldığı raporların tıbbi görüntüler içerisine zarar vermeden ve görünürlüklerini minimum seviyede tutarak gömülmesini sağlar. Bu, hasta bilgilerini güvenli bir şekilde saklama açısından önemli bir avantajdır.

Literatürdeki birçok çalışma, yalnızca DCT veya SVD yöntemlerinden birini kullanırken, önerilen yöntemde bu iki güçlü tekniğin birleşimi kullanılmıştır. DCT-SVD tabanlı hibrit damgalama yaklaşımı, görüntüdeki bozulmayı minimize ederken, damganın çıkarılabilirliğini de yüksek seviyede tutar. Bu yöntem, hem frekans hem de uzay alanındaki avantajları bir araya getirerek daha etkili bir damgalama işlemi sunar.

Çalışmada geliştirilen algoritma sayesinde, tıbbi görüntülerdeki ölü bölgeler otomatik olarak tespit edilip kullanılabilir. Bu otomasyon, damgalama işlemi kolaylaştırmakta ve insan müdahalesini minimuma indirmektedir.

Deneylerde kullanılan tıbbi görüntüler, farklı görüntüleme tekniklerinden elde edilmiştir. Bu çeşitlilik, önerilen yöntemlerin geniş bir yelpazede uygulanabilir olduğunu ve çeşitli tıbbi görüntüler üzerinde etkili bir şekilde çalıştığını göstermektedir. Bu özellik, önerilen yöntemin literatürdeki diğer yöntemlerden önemli bir farkını ortaya koymaktadır.

#### 4.4. Değerlendirme Metrikleri

Kullanılan yöntemlerin elde ettiği deneysel sonuçları ölçmek ve performans karşılaştırması yapmak amacıyla dört farklı karşılaştırma metriği kullanılmıştır.

##### 4.4.1. PSNR

Sistem, orijinal resim ile damgalanmış resim ve orijinal damga ile çıkarılan damga arasındaki sinyal-gürültü oranı değerlerini, aşağıda verilen Eşitlik 6'daki denkleme göre hesaplamıştır.

$$PSNR = 10 \times \log_{10} \left( \frac{255^2}{\frac{1}{N \times N} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N [I_1(i, j) - I_2(i, j)]^2} \right) \quad (6)$$

Eşitlikteki;

- $10 \times \log_{10}$  : Bu ifade, logaritmik bir ölçek kullanarak oranı hesaplamak için kullanılır. 10 ile çarpılması, oranı desibel (dB) cinsine çevirmek içindir.
- $255^2$  : 255, 8-bit bir görüntüdeki maksimum piksel değeridir.  $255^2$ , piksel değerinin maksimum kare değeridir. Bu, normalizasyon sabiti olarak kullanılır. 8 bit görüntüler için kullanılır; eğer görüntü 16-bit ise bu değer  $65535^2$  olacaktır.

- $N \times N$  :  $N$ , görüntünün bir boyutundaki piksel sayısını ifade eder.  $N \times N$ , toplam piksel sayısını (genişlik x yükseklik) ifade eder. Örneğin,  $512 \times 512$  boyutunda bir görüntü için  $N \times N = 512^2 = 262144$  olacaktır.
- $I_1(i, j)$  : Orijinal görüntünün  $i$  satırındaki ve  $j$  sütunundaki piksel değerini temsil eder.
- $I_2(i, j)$ : Yeniden yapılandırılmış (damgalanmış) görüntünün  $i$  satırındaki ve  $j$  sütunundaki piksel değerini temsil eder.

PSNR değeri 0 dB ile  $\infty$  dB arasında değişir.

PSNR, dijital görüntülerin kalitesini değerlendirmek için kullanılan önemli bir metriktir. Bu metrik, bir görüntü ile onun üzerinde yapılan değişiklikler arasındaki benzerliği ölçer. Genellikle, bir görüntünün orijinali ile üzerinde işlem yapılmış hali arasındaki benzerliği belirlemek için kullanılır. PSNR değeri, bu benzerliği tek bir sayısal değerle ifade eder ve bu değer yüksek olması, görüntüler arasındaki benzerliğin yüksek olduğunu gösterir (Oğuz 2006, Balcı vd. 2020, KARACA 2024).

Bir diğer açıdan PSNR, görüntüdeki hata miktarını sayısal olarak ifade eder. Ancak, insan görsel algısına duyarlı değildir. Yüksek PSNR değerleri genellikle daha iyi görüntü kalitesini gösterir, fakat algısal kaliteyi her zaman doğru yansıtmaz (Hore ve Ziou 2010, Karakış vd. 2015).

Damga eklenen imgelerde oluşan bozulmalar PSNR ile ölçülebilmektedir. Dolayısıyla, yüksek bir PSNR değeri, sinyalin gürültüye oranının yüksek olduğunu ve bu nedenle görüntüler arasındaki benzerliğin daha yüksek olduğunu gösterir. Tez çalışmasında kullanılan yöntemlerin PSNR değerleri, incelenen geçmiş çalışmalar temel alındığında başarılı seviyededir.

Özellikle dijital görüntü işleme, görüntü sıkıştırma ve veri gizleme gibi alanlarda PSNR' nin takibi önemlidir. Görüntünün benzerliğini değerlendirmede kullanıldığı gibi, görüntünün sıkıştırılmasında sıkıştırma işleminin kalitesini belirlemek için de yine PSNR değeri kullanılabilir.

Sonuç olarak, PSNR, dijital görüntülerin kalitesini değerlendirmek amacıyla sık kullanılan bir metriktir. PSNR' nin yüksek olması, görüntüler arasındaki benzerliğin yüksek olduğunu gösterir. Bir diğer deyiş ile insan algısına göre de görüntüler arasındaki farkın az olduğunu gösterir. Bu tanıma ek olarak, insan gözü PSNR' nin belirleyemediği bazı detayları algılayabilir o sebeple bu çalışma PSNR değerini tek başına metrik olarak almamıştır (Wang vd. 2002).

#### 4.4.2. MSE

MSE, sinyallerin ne kadar benzer olduğunu değerlendirmek için kullanılan bir yöntemdir. Steganografide de taşıyıcı görüntü ile steganografik (gizli veri içeren) görüntü arasındaki benzerliği belirlemek için MSE kullanılır. Steganografide MSE, taşıyıcı resim ile steganografik resim arasındaki farkı belirleyerek gizli verinin ne kadar etkili bir şekilde gizlendiğini ölçmeye yarar. MSE, karşılaştırılan iki sinyal arasındaki farkın karesinin ortalamasını hesaplar ve bu değer, benzerlik derecesini gösterir. MSE değeri ne kadar düşükse, sinyaller arasındaki benzerlik o kadar yüksektir. Yüksek MSE değerleri, sinyaller arasındaki farkın büyük olduğunu ve dolayısıyla benzerlik derecesinin düşük olduğunu gösterir (Piva vd. 1997, Balcı vd. 2020).

Tıbbi görüntülerde organları, lezyonları veya diğer yapıları ayırmak için segmentasyon yöntemi başarıyı doğrudan etkileyecek şekilde ve fazlaca kullanılmaktadır. Yapılan uygulamalarda düşük MSE değerlerine sahip yöntemler, orijinal görüntü ile segment edilmiş görüntü arasındaki farkın az olduğunu göstermiştir (Karakoyun 2023). Çalışmamızda MSE değerinin düşük oluşu segmentasyon uygulamalarına da pozitif etki sağlamaktadır.

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} [I_1(i, j) - I_2(i, j)]^2 \quad (7)$$

Eşitlikteki;

- $I_1(i, j)$  değeri orijinal resmin  $i$  satırındaki ve  $j$  sütunundaki piksel değerini temsil eder.
- $I_2(i, j)$  değeri yeniden yapılandırılmış (damgalanmış) resmin  $i$  satırındaki ve  $j$  sütunundaki piksel değerini temsil eder.
- $m, n$  değerleri ise resmin boyutlarını temsil etmektedir.

MSE değeri 0 ile  $\infty$  arasında değişir. Daha yüksek MSE değeri, daha fazla hata ve dolayısıyla daha düşük görüntü kalitesi anlamına gelir. Daha düşük MSE değeri, referans görüntüye daha yakın ve daha iyi bir görüntü kalitesine işaret eder (Karakış vd. 2015).

#### 4.4.3. SSIM

SSIM iki resim arasındaki benzerliği ölçer. SSIM değeri, korelasyon kaybı, parlaklık bozulması ve kontrast bozulması olmak üzere üç faktörün birleşimiyle oluşturulmuştur. Bu metrik resimler arasındaki yapısal benzerliği daha iyi yansıtır (Balcı

vd. 2020). PSNR'den farklı olarak parlaklık ve kontrastı dikkate alarak daha doğru algısal kalite ölçümü sağlar. Özellikle yapısal bozulmaların olduğu durumlarda PSNR'ye göre daha güvenilir sonuçlar verir (Hore ve Ziou 2010).

$$SSIM(f, g) = l(f, g)c(f, g)s(f, g) \quad (8)$$

$$l(f, g) = \frac{2\mu_f \mu_g + c1}{\mu_f^2 + \mu_g^2 + c1}$$

$$c(f, g) = \frac{2\sigma_f \sigma_g + c2}{\sigma_f^2 + \sigma_g^2 + c2} \quad (9)$$

$$s(f, g) = \frac{\sigma_{fg} + c3}{\sigma_f \sigma_g + c3}$$

SSIM endeksi [0, 1] aralığında olup, Eşitlik 8 kullanılarak hesaplanır. İki resim arasındaki korelasyon düşükse SSIM değeri 0 olur. Değerin 1 olması ise yüksek korelasyonu gösterir. Eşitlik 9' daki pozitif sabitler (C1, C2 ve C3) bölünen sıfır olmasını önlemek için kullanılmıştır (Hore ve Ziou 2010, Karakış vd. 2015, Balcı vd. 2020).

Eşitlik 9' daki  $l(f, g)$  terimi, iki görüntünün ( $\mu_f$  ve  $\mu_g$ ) yaklaşık parlaklığını karşılaştıran bir parlaklık ölçüm fonksiyonudur. Bu faktör yalnızca iki görüntü aynı olduğunda 1 değerini alır.

Eşitlik 9' daki  $c(f, g)$  terimi, iki görüntü arasındaki kontrast benzerliğini hesaplayan bir kontrast karşılaştırma fonksiyonudur. Kontrast  $\sigma_f$  ve  $\sigma_g$  standart sapmaları ile belirlenir. Eğer  $\sigma_f = \sigma_g$  ise, bu terim maksimum değer olan 1'e ulaşır.

Eşitlik 9' daki  $s(f, g)$  terimi, iki görüntü arasındaki korelasyon katsayısını ölçen bir yapı karşılaştırma fonksiyonudur (Hore ve Ziou 2010, Karakış vd. 2015, Balcı vd. 2020).

#### 4.4.4. NC

NC, benzerlik hesaplamak için kullanılan nicel bir ölçümdür. Dolayısıyla, watermarking algoritmalarının etkinliği ve dayanıklılığının bir göstergesi olarak kullanılır. NC, Eşitlik 10'daki denkleme göre hesaplanır (Mamuti 2019, Mohammed vd. 2021).

$$NC = \frac{\sum_{x=0}^M \sum_{y=0}^N [W(x, y) \cdot W'(x, y)]}{\sqrt{\sum_{x=0}^M \sum_{y=0}^N W(x, y)^2} \cdot \sqrt{\sum_{x=0}^M \sum_{y=0}^N W'(x, y)^2}} \quad (10)$$

Bu denklemde:

- $W(x,y)$ : Orijinal resmin x ve y koordinatlarındaki değerini temsil eder.
- $W'(x,y)$ : Çıkarılan resmin x ve y koordinatlarındaki değerini temsil eder.
- M: Resmin yatay ekseninde sahip olduğu toplam piksel sayısını temsil eder.
- N: Resmin dikey ekseninde sahip olduğu toplam piksel sayısını temsil eder.

NC değeri, iki resim arasındaki benzerliği ölçmek için kullanıldığında genellikle 0 ile 1 arasında değer alır. Bu aralık, iki resmin ne kadar benzer olduğunu ifade eder. Ancak, resimler arasında faz kayması veya negatif korelasyon varsa NC değeri negatif değerlere de sahip olabilir. Genel olarak, pozitif NC değeri yüksekse resimler daha benzer, düşükse resimler daha farklıdır.

## 5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE ÖNERİLER

### 5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada DCT frekans tabanlı damgalama tekniğinde SVD yöntemi kullanılarak tıbbi resimlere damga olarak tıbbi raporlar gizlenmiş ve bu kapsamda 3 farklı yöntem incelenmiştir. Damga ekleme esnasında seçilen ölçekleme değerinin optimum seçilmesiyle PSNR değerlerinin yüksek bulunduğu görülmüştür. Tüm yöntemlerde damga ekleme ve çıkarmanın genel algoritması aynı olup, damganın damgalama esnasında eklendiği yer farklılık göstermektedir. 3 yöntemde de ortak olarak öncelikle damga eklenilmek istenen orijinal resme iki boyutlu DCT uygulanarak resimlerin DCT katsayıları elde edilmiş, bu katsayıların ve damga resminin SVD' si hesaplanmıştır. Sonrasında damga resmine ait tekil değerler, uygun bir ölçekleme değeriyle çarpılıp orijinal resmin DCT katsayılarının tekil değerlerine eklenerek, SVD ve DCT işlemlerinin tersi sırasıyla alınarak damgalanmış resim elde edilmiştir. Damganın geri elde edilme işleminde, damgalanmış imge kullanıldığından, kör olmayan damgalama yapılmıştır. Sistemin, orijinal resim ile damgalanmış resim ve damgalanmış resimden çıkarılan damgalar arasındaki benzerliği PSNR, MSE, NC ve SSIM değerleri hesaplanarak olumlu sonuçları raporlanmıştır.

1.Yöntem için taşıyıcı resim ve damganın boyutları birebir aynı olup 512x512 boyutlarındadır.

2.Yöntemde taşıyıcı resim birbiri ile örtüşmeyen 16 adet bloğa ayrılmış olup damga resim taşıyıcı resmin 1/16 'sı kadar olmaktadır. Bu, diğer yöntemlere göre damga gizleme kapasitesinin daha düşük olduğunu gösterir.

Bu çalışma ile önerilen 3. yöntemde ise taşıyıcı görüntünün ilgisiz bölgelerine damganın eklenmesi amacıyla taşıyıcı görüntüdeki ilgili bölgelere siyah renk gelecek şekilde damga uygun şekilde yeniden boyutlandırılıp yeni bir damga oluşturulmuştur. Bu yöntemde tıbbi görüntünün ilgili bölgelerine dokunulmadığından damga ekleme esnasında taşıyıcı görüntü üzerinde en az bozulma gerçekleşmiş olup, çıkan damga incelendiğinde her ne kadar PSNR değeri ilk yöntemle benzer olsa da SSIM değerleri kıyaslandığında diğer yöntemlere göre daha başarılı olduğu gözlemlenmiştir.

DCT-SVD tabanlı hibrit damgalama tekniğiyle damgalama yaparken, damgayı eklemek için orijinal resmin S değerine ek olarak bir ölçekleme katsayısı eklenir. Bu ölçekleme katsayısı, genellikle istenen gizlilik seviyesi, algılanabilirlik ve güvenlik gibi faktörlere bağlı olarak seçilir. Ancak, bu katsayıyı belirlemek bir denge gerektirir.

SVD tabanlı damgalama yöntemlerinde kullanılan ölçekleme değeri, damganın kalıcılığını etkilemektedir; çünkü damganın eklenmiş olduğu resimdeki enerji seviyesini belirler. Ancak çok büyük bir ölçekleme değeri orijinal resimde bozulmalara neden olabilir. Bu nedenle, ölçekleme değerinin optimal olarak seçilmesi büyük önem taşımaktadır (Aslantaş vd. 2006).

Ölçekleme değerlerinin optimal seçimiyle yüksek PSNR değerleri elde edilmiştir. Ölçekleme katsayısının artmasıyla birlikte barındırıcı resmin kalitesinde bozulmalar oluşur ancak damganın dayanıklılığı artar. Tam tersi durumda azalması barındırıcı resmin kalitesindeki bozulmaları azaltır ancak bu durum damganın dayanıklılığını da düşürmektedir. Bu yüzden ölçekleme değerinin optimum seçilmesi önemlidir (Aslantaş ve Oz). Tez çalışmasının ilk aşamında ölçekleme değerinin en uygun değeri için deneyler gerçekleştirilmiştir. Ardından belirlenen ölçekleme katsayısı kullanılarak yöntemlerin başarıları test edilmiş ve kıyaslanmıştır.

### **5.1.1. Ölçekleme Katsayısının Seçimi ve Analizi**

Ölçekleme katsayısının belirlenmesi genellikle deneme-yanılma ve deneysel yöntemlerle yapılmıştır. Farklı ölçekleme katsayıları kullanılarak damga eklenmiş resimler oluşturulup bu resimlerin gizlilik ve algılanabilirlik gibi faktörlere nasıl etki ettiği incelenmiştir.

DCT-SVD tabanlı hibrit damgalama tekniğinde kullanılan ölçekleme değeri -1 ile 1 arasında değişmektedir (Aslantaş vd. 2006).

I1 tıbbi görüntüsü ve W1 damgası seçilerek farklı ölçekleme değerleri için orijinal resimle damgalanmış resim ve orijinal damga ile çıkarılan damga arasındaki PSNR ve SSIM değerleri Çizelge 2’de, alınan PSNR değerleri için çizelgenin grafiğe uyarlanmış hali de Şekil 12’de gösterilmiştir. Diğer çizelgeler de incelendiğinde de farklı resimlere göre yapılan çalışmalarda katsayının değişimi metotların başarı sırasına etki etmemekle birlikte seçilen resim de başarı sırasını değiştirmemektedir.

Şekil 12’deki grafiği detaylı şekilde analiz etmek amacıyla her bir katsayı değeri için PSNR değişimlerini inceleyelim. Grafik üç farklı yöntemin (Eş Boyutlu, Blok Tabanlı ve Bölünmüş Damga) I1 görüntüsü üzerindeki PSNR değerlerini karşılaştırmaktadır.

Katsayı 0.01 için incelediğimizde

- PSNR\_I (Eş Boyutlu): 40.3744
- PSNR\_W (Eş Boyutlu): 34.6841
- PSNR\_I (Blok Tabanlı): 40.4597
- PSNR\_W (Blok Tabanlı): 15.6285
- PSNR\_I (Bölünmüş Damga): 44.4656
- PSNR\_W (Bölünmüş Damga): 27.9322

değerlerinin çıktığını görmekteyiz. Önerilen yöntem olan Bölünmüş Damga yöntemi, PSNR\_I ve PSNR\_W metriklerinde diğer yöntemlerden daha yüksek değerler göstermekte, bu da yüksek görüntü kalitesi ve yüksek damga kalitesi anlamına gelmektedir.

Katsayı 0.03 için incelediğimizde

- PSNR\_I (Eş Boyutlu): 30.8994
- PSNR\_W (Eş Boyutlu): 44.003
- PSNR\_I (Blok Tabanlı): 31.2509
- PSNR\_W (Blok Tabanlı): 15.9069
- PSNR\_I (Bölünmüş Damga): 34.6788
- PSNR\_W (Bölünmüş Damga): 43.9259

değerlerinin çıktığını görmekteyiz. Önerilen yöntem olan Bölünmüş Damga yöntemi, PSNR\_I ve PSNR\_W açısından üstünlük sağlamaktadır. Özellikle PSNR\_I değeri diğer yöntemlere göre belirgin bir şekilde daha yüksektir.

Katsayı 0.05 için incelediğimizde

- PSNR\_I (Eş Boyutlu): 26.4907
- PSNR\_W (Eş Boyutlu): 26.4907
- PSNR\_I (Blok Tabanlı): 26.9728
- PSNR\_W (Blok Tabanlı): 16.0791
- PSNR\_I (Bölünmüş Damga): 30.2467
- PSNR\_W (Bölünmüş Damga): 45.4512

değerlerinin çıktığını görmekteyiz. Önerilen yöntem olan Bölünmüş Damga yöntemi, özellikle PSNR\_W değerinde çok yüksek bir performans sergilemektedir. PSNR\_I değerinin de diğer yöntemlerden daha iyi olduğu açıktır.

Katsayı 0.1 için incelediğimizde

- PSNR\_I (Eş Boyutlu): 20.6387
- PSNR\_W (Eş Boyutlu): 30.6895
- PSNR\_I (Blok Tabanlı): 21.2509
- PSNR\_W (Blok Tabanlı): 16.4248
- PSNR\_I (Bölünmüş Damga): 24.2707
- PSNR\_W (Bölünmüş Damga): 40.9542

değerlerinin çıktığını görmekteyiz. Yine, Bölünmüş Damga yöntemi PSNR\_I ve PSNR\_W metriklerinde diğer yöntemlerden daha yüksek değerler göstermektedir.

Katsayı 0.5 için incelediğimizde

- PSNR\_I (Eş Boyutlu): 12.9505
- PSNR\_W (Eş Boyutlu): 5.3287
- PSNR\_I (Blok Tabanlı): 12.1823
- PSNR\_W (Blok Tabanlı): 17.3528
- PSNR\_I (Bölünmüş Damga): 14.1108
- PSNR\_W (Bölünmüş Damga): 8.4566

değerlerinin çıktığını görmekteyiz. Bu katsayı değerinde Blok Tabanlı yöntem PSNR\_W açısından daha yüksek bir değer göstermesine rağmen, Bölünmüş Damga yöntemi genel olarak daha dengeli ve yüksek PSNR\_I değeri sunmaktadır.

Katsayı 0.75 için incelediğimizde

- PSNR\_I (Eş Boyutlu): 12.0365
- PSNR\_W (Eş Boyutlu): 3.637

- PSNR\_I (Blok Tabanlı): 10.8175
- PSNR\_W (Blok Tabanlı): 16.6734
- PSNR\_I (Bölünmüş Damga): 13.0132
- PSNR\_W (Bölünmüş Damga): 5.5202

değerlerinin çıktığını görmekteyiz. Blok Tabanlı yöntem PSNR\_W açısından daha yüksek bir değer göstermekte ancak PSNR\_I açısından Bölünmüş Damga yöntemi daha iyi sonuç vermektedir.

Şekil 12’de verilen grafik için genel bir değerlendirme yapılacak olursa, Bölünmüş Damga yönteminin genel olarak hem görüntü kalitesi (PSNR\_I) hem de çıkan damga kalitesi (PSNR\_W) açısından diğer yöntemlere göre üstün olduğu görülmektedir. Özellikle düşük katsayı değerlerinde (0.01, 0.03, 0.05) Bölünmüş Damga yöntemi belirgin şekilde daha iyi performans sergilemektedir. Katsayı değeri arttıkça (0.5 ve 0.75), diğer yöntemlerle arasındaki fark azalsa da, Bölünmüş Damga yöntemi hala yüksek PSNR\_I değerleri sunmaktadır.

I1 tıbbi görüntüsü ve W1 damgası seçilerek farklı ölçekleme değerleri için orijinal resimle damgalanmış resim ve orijinal damga ile çıkarılan damga arasındaki PSNR ve SSIM değerleri Çizelge 2’de, alınan SSIM değerleri için çizelgenin grafiğe uyarlanmış hali ise Şekil 13’te gösterilmiştir.

Grafiği detaylı şekilde analiz etmek amacıyla her bir katsayı değeri için SSIM değişimlerini inceleyelim. Grafik üç farklı yöntemin (Eş Boyutlu, Blok Tabanlı ve Bölünmüş Damga) I1 görüntüsü üzerindeki SSIM değerlerini karşılaştırmaktadır.

Katsayı 0.01 için incelediğimizde

- SSIM\_I (Eş Boyutlu): 0.99782
- SSIM\_W (Eş Boyutlu): 0.95539
- SSIM\_I (Blok Tabanlı): 0.99489
- SSIM\_W (Blok Tabanlı): 0.71593
- SSIM\_I (Bölünmüş Damga): 0.99922
- SSIM\_W (Bölünmüş Damga): 0.96998

değerlerinin çıktığını görmekteyiz. Bölünmüş Damga yöntemi, hem SSIM\_I hem de SSIM\_W metriklerinde diğer yöntemlerden daha yüksek değerler göstermektedir, bu da hem yüksek görüntü benzerliği hem de yüksek damga kalitesi anlamına gelmektedir.

Katsayı 0.03 için incelediğimizde

- SSIM\_I (Eş Boyutlu): 0.98784
- SSIM\_W (Eş Boyutlu): 0.99144
- SSIM\_I (Blok Tabanlı): 0.9729
- SSIM\_W (Blok Tabanlı): 0.71729
- SSIM\_I (Bölünmüş Damga): 0.99436
- SSIM\_W (Bölünmüş Damga): 0.99378

değerlerinin çıktığını görmekteyiz. Bu katsayı değerinde de Bölünmüş Damga yöntemi, SSIM\_I ve SSIM\_W açısından üstünlük sağlamaktadır. Özellikle SSIM\_W değeri diğer yöntemlere göre belirgin bir şekilde daha yüksektir.

Katsayı 0.05 için incelediğimizde

- SSIM\_I (Eş Boyutlu): 0.97668
- SSIM\_W (Eş Boyutlu): 0.99149
- SSIM\_I (Blok Tabanlı): 0.94884
- SSIM\_W (Blok Tabanlı): 0.71012
- SSIM\_I (Bölünmüş Damga): 0.98842
- SSIM\_W (Bölünmüş Damga): 0.99597

değerlerinin çıktığını görmekteyiz. Bölünmüş Damga yöntemi, özellikle SSIM\_W değerinde çok yüksek bir performans sergilemektedir. SSIM\_I değeri de diğer yöntemlerden daha iyi sonuç vermiştir.

Katsayı 0.1 için incelediğimizde

- SSIM\_I (Eş Boyutlu): 0.93397
- SSIM\_W (Eş Boyutlu): 0.97662
- SSIM\_I (Blok Tabanlı): 0.88909
- SSIM\_W (Blok Tabanlı): 0.70614
- SSIM\_I (Bölünmüş Damga): 0.96274
- SSIM\_W (Bölünmüş Damga): 0.9949

değerlerinin çıktığını görmekteyiz. Yine, Bölünmüş Damga yöntemi SSIM\_I ve SSIM\_W metriklerinde diğer yöntemlerden daha yüksek değerler göstermektedir.

Katsayı 0.5 için incelediğimizde

- SSIM\_I (Eş Boyutlu): 0.64047
- SSIM\_W (Eş Boyutlu): 0.63839

- SSIM\_I (Blok Tabanlı): 0.60779
- SSIM\_W (Blok Tabanlı): 0.60925
- SSIM\_I (Bölünmüş Damga): 0.72036
- SSIM\_W (Bölünmüş Damga): 0.777

değerlerinin çıktığını görmekteyiz. Bu katsayı değerinde Eş Boyutlu yöntem SSIM\_W açısından daha yüksek bir değer göstermesine rağmen, Bölünmüş Damga yöntemi genel olarak daha dengeli ve yüksek SSIM\_I değeri sunmaktadır.

Katsayı 0.75 için incelediğimizde

- SSIM\_I (Eş Boyutlu): 0.5722
- SSIM\_W (Eş Boyutlu): 0.48215
- SSIM\_I (Blok Tabanlı): 0.55811
- SSIM\_W (Blok Tabanlı): 0.54041
- SSIM\_I (Bölünmüş Damga): 0.64186
- SSIM\_W (Bölünmüş Damga): 0.63976

değerlerinin çıktığını görmekteyiz. Blok Tabanlı yöntem SSIM\_W açısından daha yüksek bir değer göstermekte ancak SSIM\_I açısından Bölünmüş Damga yöntemi daha iyi sonuç vermektedir.

Şekil 13'te verilen grafik için genel bir değerlendirme yapılacak olursa, Bölünmüş Damga yönteminin genel olarak hem görüntü kalitesi (SSIM\_I) hem de damga kalitesi (SSIM\_W) açısından diğer yöntemlere göre üstün olduğu görülmektedir. Özellikle düşük katsayı değerlerinde (0.01, 0.03, 0.05) Bölünmüş Damga yöntemi belirgin şekilde daha iyi performans sergilemektedir. Katsayı değeri arttıkça (0.5 ve 0.75), diğer yöntemlerle arasındaki fark azalsa da, Bölünmüş Damga yöntemi hala yüksek SSIM\_I değerleri sunmaktadır.

Yöntem 1 'e göre 0.01 katsayısı kullanılarak I1, I2, I3, I4, I5, I6, I7, I8, I9, I10, I11, I12, I13 tıbbi görüntüleri ve her iki damga (W1, W2 ) için PSNR\_I, PSNR\_W, SSIM\_I, SSIM\_W, MSE\_I, MSE\_W değerleri Çizelge 3'te,

Yöntem 2 'ye göre 0.01 katsayısı kullanılarak I1, I2, I3, I4, I5, I6, I7, I8, I9, I10, I11, I12, I13 tıbbi görüntüleri ve her iki damga (W1, W2 ) için PSNR\_I, PSNR\_W, SSIM\_I, SSIM\_W, MSE\_I, MSE\_W değerleri Çizelge 4'te,

Yöntem 3 'e göre 0.01 katsayısı kullanılarak I1, I2, I3, I4, I5, I6, I7, I8, I9, I10, I11, I12, I13 tıbbi görüntüleri ve her iki damga (W1, W2 ) için PSNR\_I, PSNR\_W, SSIM\_I, SSIM\_W, MSE\_I, MSE\_W değerleri Çizelge 5'te,

Yöntem 1 'e göre 0.03 katsayısı kullanılarak I1, I2, I3, I4, I5, I6, I7, I8, I9, I10, I11, I12, I13 tıbbi görüntüleri ve her iki damga (W1, W2 ) için PSNR\_I, PSNR\_W, SSIM\_I, SSIM\_W, MSE\_I, MSE\_W değerleri Çizelge 6'da,

Yöntem 2 'ye göre 0.03 katsayısı kullanılarak I1, I2, I3, I4, I5, I6, I7, I8, I9, I10, I11, I12, I13 tıbbi görüntüleri ve her iki damga (W1, W2 ) için PSNR\_I, PSNR\_W, SSIM\_I, SSIM\_W, MSE\_I, MSE\_W değerleri Çizelge 7'de,

Yöntem 3 'e göre 0.03 katsayısı kullanılarak I1, I2, I3, I4, I5, I6, I7, I8, I9, I10, I11, I12, I13 tıbbi görüntüleri ve her iki damga (W1, W2 ) için PSNR\_I, PSNR\_W, SSIM\_I, SSIM\_W, MSE\_I, MSE\_W değerleri Çizelge 8'de,

Yöntem 1 'e göre 0.05 katsayısı kullanılarak I1, I2, I3, I4, I5, I6, I7, I8, I9, I10, I11, I12, I13 tıbbi görüntüleri ve her iki damga (W1, W2 ) için PSNR\_I, PSNR\_W, SSIM\_I, SSIM\_W, MSE\_I, MSE\_W değerleri Çizelge 9'da,

Yöntem 2 'ye göre 0.05 katsayısı kullanılarak I1, I2, I3, I4, I5, I6, I7, I8, I9, I10, I11, I12, I13 tıbbi görüntüleri ve her iki damga (W1, W2 ) için PSNR\_I, PSNR\_W, SSIM\_I, SSIM\_W, MSE\_I, MSE\_W değerleri Çizelge 10'da,

Yöntem 3 'e göre 0.05 katsayısı kullanılarak I1, I2, I3, I4, I5, I6, I7, I8, I9, I10, I11, I12, I13 tıbbi görüntüleri ve her iki damga (W1, W2 ) için PSNR\_I, PSNR\_W, SSIM\_I, SSIM\_W, MSE\_I, MSE\_W değerleri Çizelge 11'de,

Yöntem 1 'e göre 0.1 katsayısı kullanılarak I1, I2, I3, I4, I5, I6, I7, I8, I9, I10, I11, I12, I13 tıbbi görüntüleri ve her iki damga (W1, W2 ) için PSNR\_I, PSNR\_W, SSIM\_I, SSIM\_W, MSE\_I, MSE\_W değerleri Çizelge 12'de,

Yöntem 2 'ye göre 0.1 katsayısı kullanılarak I1, I2, I3, I4, I5, I6, I7, I8, I9, I10, I11, I12, I13 tıbbi görüntüleri ve her iki damga (W1, W2 ) için PSNR\_I, PSNR\_W, SSIM\_I, SSIM\_W, MSE\_I, MSE\_W değerleri Çizelge 13'te,

Yöntem 3 'e göre 0.1 katsayısı kullanılarak I1, I2, I3, I4, I5, I6, I7, I8, I9, I10, I11, I12, I13 tıbbi görüntüleri ve her iki damga (W1, W2 ) için PSNR\_I, PSNR\_W, SSIM\_I, SSIM\_W, MSE\_I, MSE\_W değerleri Çizelge 14'te,

Yöntem 1 'e göre 0.25 katsayısı kullanılarak I1, I2, I3, I4, I5, I6, I7, I8, I9, I10, I11, I12, I13 tıbbi görüntüleri ve her iki damga (W1, W2 ) için PSNR\_I, PSNR\_W, SSIM\_I, SSIM\_W, MSE\_I, MSE\_W değerleri Çizelge 15'te,

Yöntem 2 'ye göre 0.25 katsayısı kullanılarak I1, I2, I3, I4, I5, I6, I7, I8, I9, I10, I11, I12, I13 tıbbi görüntüleri ve her iki damga (W1, W2 ) için PSNR\_I, PSNR\_W, SSIM\_I, SSIM\_W, MSE\_I, MSE\_W değerleri Çizelge 16'da,

Yöntem 3 'e göre 0.25 katsayısı kullanılarak I1, I2, I3, I4, I5, I6, I7, I8, I9, I10, I11, I12, I13 tıbbi görüntüleri ve her iki damga (W1, W2 ) için PSNR\_I, PSNR\_W, SSIM\_I, SSIM\_W, MSE\_I, MSE\_W değerleri Çizelge 17'de,

Yöntem 1 'e göre 0.5 katsayısı kullanılarak I1, I2, I3, I4, I5, I6, I7, I8, I9, I10, I11, I12, I13 tıbbi görüntüleri ve her iki damga (W1, W2 ) için PSNR\_I, PSNR\_W, SSIM\_I, SSIM\_W, MSE\_I, MSE\_W değerleri Çizelge 18'de,

Yöntem 2 'ye göre 0.5 katsayısı kullanılarak I1, I2, I3, I4, I5, I6, I7, I8, I9, I10, I11, I12, I13 tıbbi görüntüleri ve her iki damga (W1, W2 ) için PSNR\_I, PSNR\_W, SSIM\_I, SSIM\_W, MSE\_I, MSE\_W değerleri Çizelge 19'da,

Yöntem 3 'e göre 0.5 katsayısı kullanılarak I1, I2, I3, I4, I5, I6, I7, I8, I9, I10, I11, I12, I13 tıbbi görüntüleri ve her iki damga (W1, W2 ) için PSNR\_I, PSNR\_W, SSIM\_I, SSIM\_W, MSE\_I, MSE\_W değerleri Çizelge 20'de,

Yöntem 1 'e göre 0.75 katsayısı kullanılarak I1, I2, I3, I4, I5, I6, I7, I8, I9, I10, I11, I12, I13 tıbbi görüntüleri ve her iki damga (W1, W2 ) için PSNR\_I, PSNR\_W, SSIM\_I, SSIM\_W, MSE\_I, MSE\_W değerleri Çizelge 21'de,

Yöntem 2 'ye göre 0.75 katsayısı kullanılarak I1, I2, I3, I4, I5, I6, I7, I8, I9, I10, I11, I12, I13 tıbbi görüntüleri ve her iki damga (W1, W2 ) için PSNR\_I, PSNR\_W, SSIM\_I, SSIM\_W, MSE\_I, MSE\_W değerleri Çizelge 22'de,

Yöntem 3 'e göre 0.75 katsayısı kullanılarak I1, I2, I3, I4, I5, I6, I7, I8, I9, I10, I11, I12, I13 tıbbi görüntüleri ve her iki damga (W1, W2 ) için PSNR\_I, PSNR\_W, SSIM\_I, SSIM\_W, MSE\_I, MSE\_W değerleri Çizelge 23'te gösterilmiştir. Çizelgeler detaylı incelendiğinde, Şekil 12 ve Şekil 13'te bulunan grafiklerden elde ettiğimiz yorumlarla çizelgelerin eşleştiği ve benzer yorumların yapılabildiği sonucuna varılmıştır.

Çizelge 2, Şekil 12 ve Şekil 13'e başka bir bakış açısıyla bakarak en uygun katsayı aralığını belirlemeye çalıştığımızda en uygun katsayı aralığının, hem yüksek görüntü kalitesi damga kalitesinin dengelendiği 0.01 ile 0.05 arasındaki katsayı değerleri olduğu aşikardır.

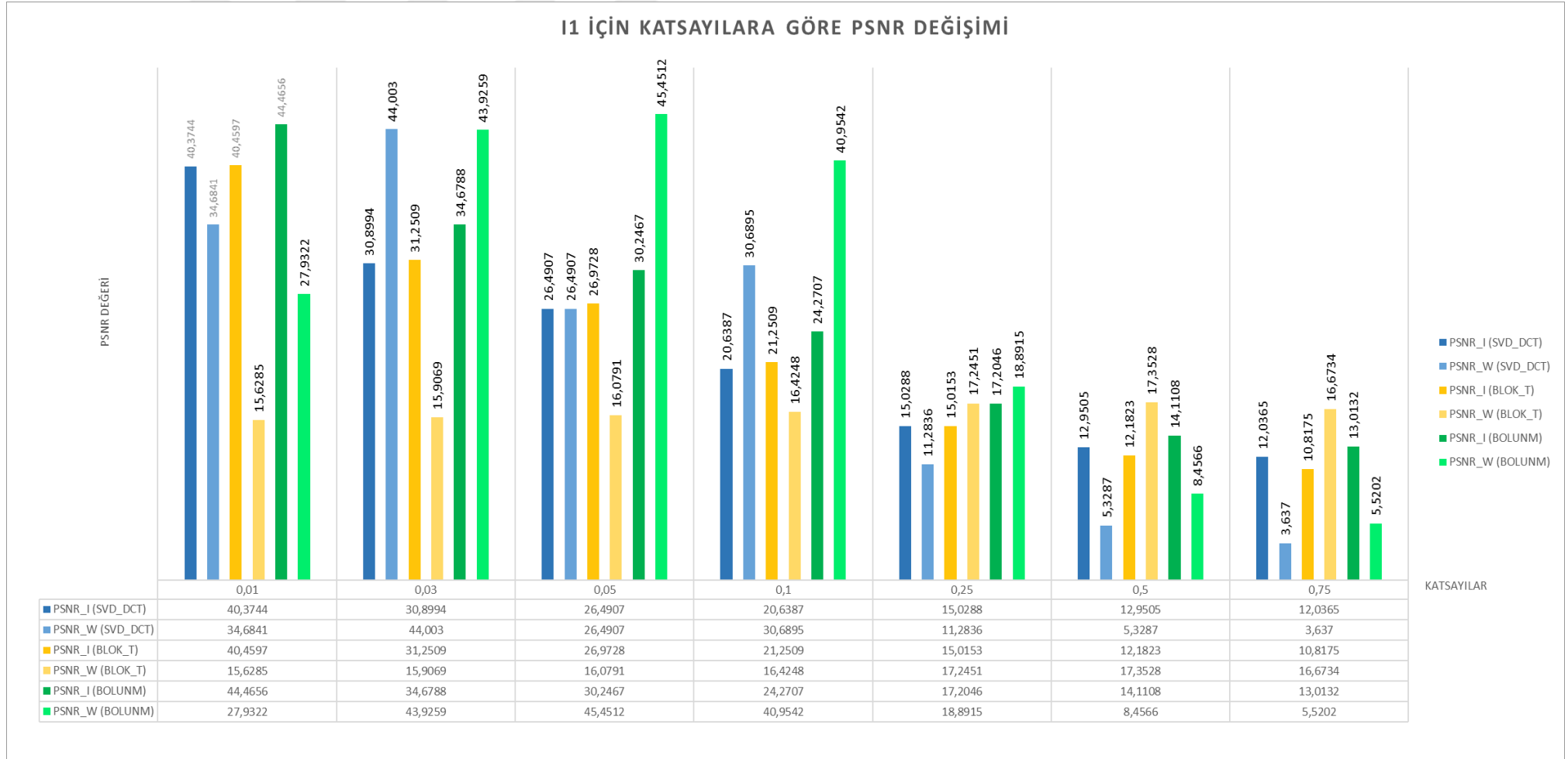
Daha detaylı incelersek;

- 0.01 katsayısı: En yüksek görüntü kalitesi ve iyi damga kalitesi
- 0.03 katsayısı: Dengeli ve yüksek kalite
- 0.05 katsayısı: Yüksek damga kalitesi ve kabul edilebilir görüntü kalitesinin görüldüğü katsayılardır.

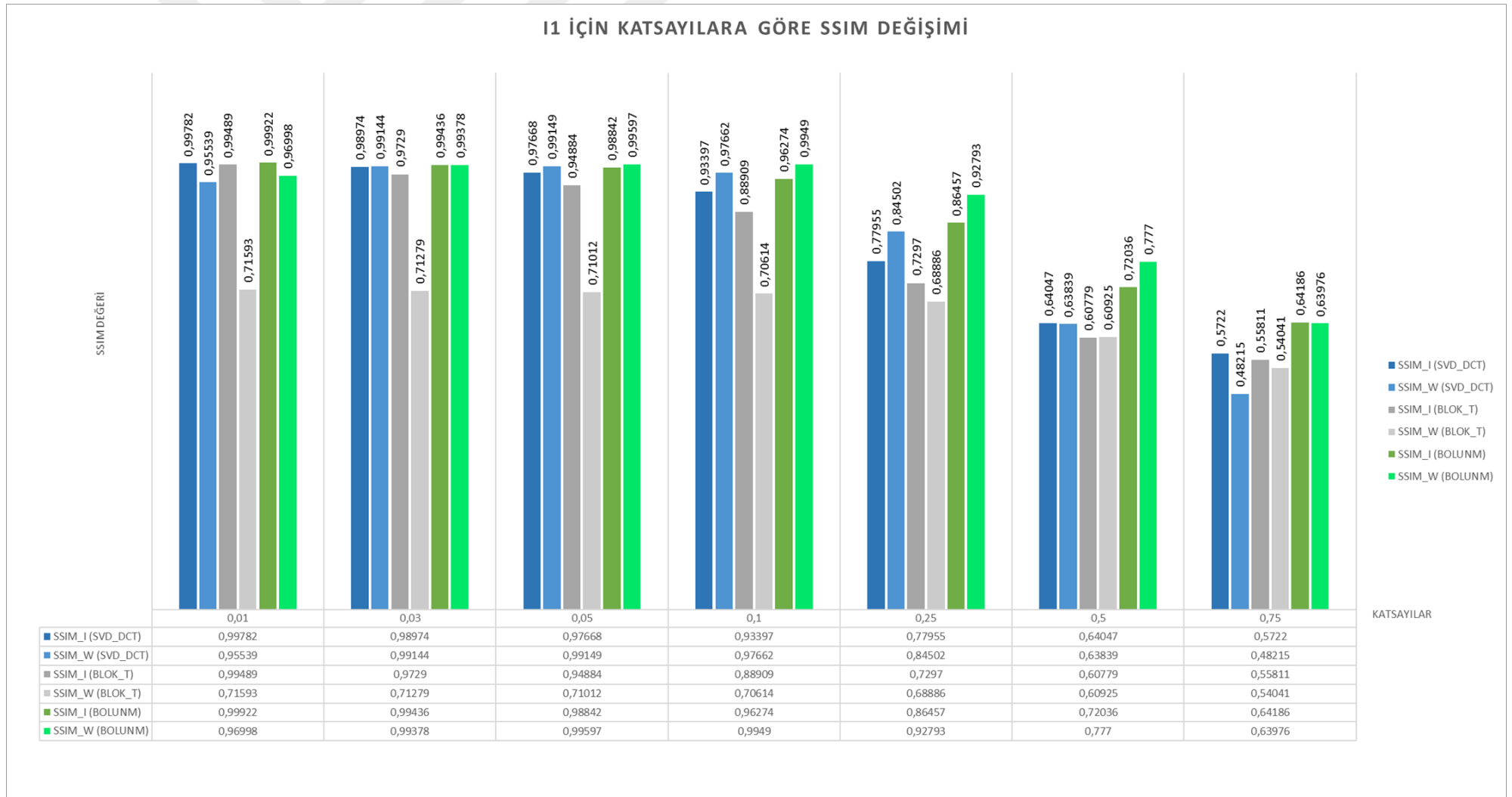
Yani 0.01 ve 0.03 katsayıları özellikle optimal gözükmekte, çünkü bu aralıklarda görüntü kalitesi ve damga kalitesi en yüksek seviyede dengelenmiş durumdadır. Katsayı arttıkça, özellikle 0.1 ve üzeri değerlerde, görüntü kalitesinde belirgin bir düşüş gözlenmekte, bu da 0.1 ve üzerindeki değerlerin damgalama işlemi için uygun olmadığını göstermektedir. Bu nedenle, damgalama işlemleri için 0.01 ile 0.05 aralığı ideal değer olarak değerlendirilebilir. Bu aralıkta da 0.01 değerinin en ideal değer olduğu görülür.

**Çizelge 2.** Tüm yöntemlere göre I1,I2,I7,I10 resimleri ve W1 damgası için elde edilen sonuçlar

Katsayı	Yöntem	Eş Boyutlu				Blok Tabanlı				Bölünmüş Damga (Önerilen Yöntem)			
		Resim	I1	I2	I7	I10	I1	I2	I7	I10	I1	I2	I7
0.01	PSNR_I	40.37	40.55	41.12	40.39	40.46	40.56	42.05	40.47	<b>44.47</b>	<b>42.71</b>	<b>43.92</b>	<b>44.1</b>
	PSNR_W	<b>34.68</b>	27.11	17.16	<b>43.74</b>	15.63	14.8	14.64	14.82	27.93	<b>28.75</b>	<b>17.51</b>	38.81
	SSIM_I	0.998	0.994	0.954	0.992	0.995	0.988	<b>0.983</b>	0.991	<b>0.999</b>	<b>0.997</b>	0.971	<b>0.997</b>
	SSIM_W	0.955	<b>0.919</b>	<b>0.889</b>	<b>0.987</b>	0.716	0.725	0.723	0.725	<b>0.969</b>	0.915	0.889	0.970
0.03	PSNR_I	30.89	31.10	31.67	30.90	31.25	31.23	32.63	30.96	<b>34.68</b>	<b>33.3</b>	<b>34.53</b>	<b>34.66</b>
	PSNR_W	<b>44.00</b>	23.88	16.65	<b>48.31</b>	15.91	15.11	14.82	15.16	43.93	<b>24.96</b>	<b>16.78</b>	47.93
	SSIM_I	0.989	0.956	0.827	0.945	0.973	0.951	<b>0.929</b>	0.957	<b>0.994</b>	<b>0.970</b>	0.875	<b>0.971</b>
	SSIM_W	0.991	<b>0.879</b>	<b>0.876</b>	0.997	0.713	0.726	0.724	0.725	<b>0.994</b>	0.878	0.868	<b>0.997</b>
0.05	PSNR_I	26.49	26.73	27.26	26.47	26.97	26.97	28.23	26.54	<b>30.25</b>	<b>28.92</b>	<b>30.12</b>	<b>30.24</b>
	PSNR_W	26.49	22.19	16.58	47.01	16.08	15.39	15.03	15.44	<b>45.45</b>	<b>23.31</b>	<b>16.69</b>	<b>49.84</b>
	SSIM_I	0.977	0.908	0.734	0.893	0.949	0.917	<b>0.885</b>	0.923	<b>0.988</b>	<b>0.935</b>	0.794	<b>0.938</b>
	SSIM_W	0.991	0.851	<b>0.877</b>	0.997	0.710	0.725	0.725	0.724	<b>0.996</b>	<b>0.852</b>	0.869	<b>0.998</b>
0.1	PSNR_I	20.64	20.87	21.34	20.46	21.25	21.37	22.44	20.59	<b>24.27</b>	<b>23.01</b>	<b>24.16</b>	<b>24.23</b>
	PSNR_W	30.69	19.26	16.27	42.33	16.42	16.14	15.42	16.14	<b>40.95</b>	<b>20.76</b>	<b>16.59</b>	<b>47.69</b>
	SSIM_I	0.934	0.799	0.583	0.771	0.889	0.844	<b>0.802</b>	0.843	<b>0.963</b>	<b>0.844</b>	0.653	<b>0.852</b>
	SSIM_W	0.977	0.789	<b>0.877</b>	0.994	0.706	0.719	0.723	0.718	<b>0.995</b>	<b>0.805</b>	0.872	0.998
0.5	PSNR_I	12.95	8.93	8.86	7.21	12.18	9.52	<b>10.76</b>	8.28	<b>14.11</b>	<b>10.42</b>	11.08	<b>10.31</b>
	PSNR_W	5.32	10.01	10.01	19.51	<b>17.35</b>	<b>16.73</b>	<b>17.64</b>	16.76	8.45	11.74	12.18	<b>32.64</b>
	SSIM_I	0.640	0.357	0.240	0.361	0.608	<b>0.509</b>	<b>0.481</b>	<b>0.487</b>	<b>0.720</b>	0.428	0.307	0.462
	SSIM_W	0.638	0.515	0.534	0.892	0.609	<b>0.545</b>	<b>0.649</b>	0.548	<b>0.777</b>	0.499	0.624	<b>0.975</b>
0.75	PSNR_I	12.04	6.95	6.48	4.85	10.82	7.28	<b>8.48</b>	6.05	<b>13.01</b>	<b>8.13</b>	8.32	<b>7.36</b>
	PSNR_W	3.63	7.65	7.85	13.01	<b>16.67</b>	<b>16.40</b>	<b>17.13</b>	16.39	5.52	9.26	9.86	<b>20.99</b>
	SSIM_I	0.572	0.271	0.173	0.289	0.558	<b>0.409</b>	<b>0.383</b>	<b>0.411</b>	<b>0.642</b>	0.319	0.224	0.366
	SSIM_W	0.482	0.486	0.429	0.751	0.540	<b>0.519</b>	<b>0.576</b>	0.519	<b>0.639</b>	0.478	0.474	<b>0.905</b>



Şekil 12. 11 resmi için katsayılara göre PSNR değişimi grafiği



**Şekil 13.** 11 resmi için katsayılara göre ssim değişimi grafiği

**Çizelge 3.** Yöntem 1 'e göre 0.01 ölçekleme katsayısı kullanılarak her iki damga için elde edilen sonuçlar

Damga	W1								W2							
	Resim	PSNR_I	PSNR_W	MSE_I	MSE_W	SSIM_I	SSIM_W	NC_I	NC_W	PSNR_I	PSNR_W	MSE_I	MSE_W	SSIM_I	SSIM_W	NC_I
<b>I1</b>	40.3744	34.6841	9.174e-05	3.4009e-04	0.99782	0.95539	0.99999	0.99458	40.7607	38.2702	8.3932e-05	1.4893e-04	0.99919	0.98023	0.99999	0.99891
<b>I2</b>	40.5500	27.1098	8.8104e-05	1.9455e-04	0.99408	0.91978	0.99971	0.98371	40.9226	26.9400	8.0861e-05	2.0230e-03	0.99562	0.92698	0.99976	0.99193
<b>I3</b>	40.5498	27.1095	8.8109e-05	1.9456e-04	0.99406	0.91985	0.99971	0.98368	40.9223	26.9427	8.0866e-05	2.0218e-03	0.99560	0.92684	0.99976	0.99194
<b>I4</b>	40.5214	28.6468	8.8687e-05	1.3656e-03	0.99503	0.92087	0.99974	0.98714	40.8636	28.7897	8.1966e-05	1.3214e-03	0.99665	0.93149	0.99979	0.99375
<b>I5</b>	40.4692	34.9601	8.976e-05	3.1910e-04	0.99442	0.97168	0.99974	0.99742	40.8382	35.0874	8.2448e-05	3.099e-04	0.99614	0.98022	0.99980	0.99895
<b>I6</b>	40.4568	33.9495	9.0016e-05	4.0276e-04	0.99099	0.97060	0.99964	0.99700	40.8237	33.4985	8.2723e-05	4.4684e-04	0.99333	0.96867	0.99971	0.99822
<b>I7</b>	41.1178	17.1575	7.7308e-05	1.9242e-02	0.95352	0.88910	0.99977	0.97928	41.4571	17.5475	7.1497e-05	1.7590e-02	0.96024	0.90925	0.99980	0.99118
<b>I8</b>	40.4029	38.0853	9.1139e-05	1.5541e-04	0.98395	0.97396	0.99984	0.99756	40.7674	37.2254	8.3804e-05	1.8943e-04	0.98859	0.97851	0.99989	0.99874
<b>I9</b>	40.4229	39.6590	9.0721e-05	1.0817e-04	0.98548	0.97925	0.99986	0.99858	40.7646	39.4096	8.3858e-05	1.1456e-04	0.98937	0.98092	0.99990	0.99919
<b>I10</b>	40.3919	43.7374	9.1371e-05	4.2292e-05	0.99177	0.98742	0.99958	0.99931	40.7327	42.3678	8.4474e-05	5.7972e-05	0.99384	0.99011	0.99968	0.99958
<b>I11</b>	40.4249	40.5252	9.068e-05	8.8610e-05	0.99953	0.9837	0.99997	0.99882	40.7504	40.2451	8.4133e-05	9.4513e-05	0.99961	0.98569	0.99998	0.99935
<b>I12</b>	40.4336	42.6442	9.0498e-05	5.4397e-05	0.99546	0.98983	0.99976	0.99934	40.7884	43.4346	8.3399e-05	4.5346e-05	0.99749	0.99352	0.99982	0.99980
<b>I13</b>	40.4038	44.8551	9.1122e-05	3.2695e-05	0.99236	0.98962	0.99967	0.99946	40.7762	42.4354	8.3634e-05	5.7076e-05	0.99453	0.99066	0.99975	0.99964

Çizelge 4. Yöntem 2 'ye göre 0.01 ölçekleme katsayısı kullanılarak her iki damga için elde edilen sonuçlar

Damga	W1								W2							
	Resim	PSNR_I	PSNR_W	MSE_I	MSE_W	SSIM_I	SSIM_W	NC_I	NC_W	PSNR_I	PSNR_W	MSE_I	MSE_W	SSIM_I	SSIM_W	NC_I
<b>I1</b>	40.4597	15.6285	8.9956e-05	17.6962	0.99489	0.71593	0.99993	0.80238	40.9079	14.9619	8.1135e-05	24.4279	0.99538	0.51339	0.99993	0.80463
<b>I2</b>	40.5615	14.8014	8.7871e-05	20.8868	0.98756	0.72518	0.99950	0.81093	40.9499	13.7173	8.0354e-05	30.4044	0.98979	0.54409	0.99957	0.78052
<b>I3</b>	40.5615	14.809	8.7871e-05	20.8401	0.98755	0.72489	0.99950	0.81048	40.9500	13.7198	8.0353e-05	30.3733	0.98979	0.54404	0.99957	0.78039
<b>I4</b>	40.5482	14.7991	8.8141e-05	20.8246	0.98755	0.72404	0.99953	0.80907	40.9416	13.7321	8.0508e-05	30.3110	0.98980	0.54530	0.99959	0.78063
<b>I5</b>	40.5195	14.8044	8.8727e-05	20.8557	0.98762	0.72458	0.99953	0.81028	40.9119	13.7668	8.106e-05	30.2332	0.98990	0.54453	0.99959	0.78228
<b>I6</b>	40.5810	14.8264	8.7478e-05	20.7623	0.98857	0.72419	0.99943	0.80996	40.9771	13.7815	7.9853e-05	30.2799	0.99026	0.54412	0.99951	0.78374
<b>I7</b>	42.0511	14.6443	6.2358e-05	21.8051	0.98271	0.72298	0.99978	0.81993	42.4623	13.7632	5.6725e-05	32.6145	0.98618	0.53721	0.99982	0.80541
<b>I8</b>	40.5192	16.5984	8.8731e-05	11.8286	0.98389	0.65606	0.99958	0.72030	40.9105	15.4549	8.1086e-05	15.2954	0.98675	0.39011	0.99963	0.76935
<b>I9</b>	40.4934	17.1266	8.926e-05	4.20230	0.98967	0.58945	0.99961	0.52354	40.8662	14.0082	8.1919e-05	7.3008	0.99221	0.32291	0.99966	0.61329
<b>I10</b>	40.4662	14.8228	8.9821e-05	20.8557	0.99073	0.72524	0.99942	0.81230	40.8482	13.808	8.2258e-05	30.3889	0.99246	0.54721	0.99954	0.78664
<b>I11</b>	40.7401	14.7952	8.4332e-05	20.9802	0.9950	0.72403	0.99979	0.81291	41.1563	13.8128	7.6625e-05	30.3577	0.99574	0.54382	0.99981	0.78667
<b>I12</b>	40.7654	14.8731	8.3842e-05	20.6534	0.99466	0.72424	0.99949	0.81145	41.1550	13.8744	7.6648e-05	30.1398	0.99553	0.54413	0.99956	0.78873
<b>I13</b>	40.7887	14.8691	8.3392e-05	20.6845	0.99452	0.72427	0.99942	0.81193	41.1712	13.8618	7.6363e-05	30.0620	0.99539	0.54544	0.99950	0.78712

**Çizelge 5.** Yöntem 3 'e göre 0.01 ölçekleme katsayısı kullanılarak her iki damga için elde edilen sonuçlar

Damga	W1								W2							
	Resim	PSNR_I	PSNR_W	MSE_I	MSE_W	SSIM_I	SSIM_W	NC_I	NC_W	PSNR_I	PSNR_W	MSE_I	MSE_W	SSIM_I	SSIM_W	NC_I
<b>I1</b>	44.4656	27.9322	3.5763e-05	1.6098e-03	0.99922	0.96998	0.99999	0.99662	44.4327	28.1897	3.6036e-05	1.5172e-03	0.99923	0.96752	1	0.99819
<b>I2</b>	42.7064	28.7454	5.3624e-05	1.3349e-03	0.99709	0.91516	0.99981	0.98437	42.6899	28.7645	5.3828e-05	1.3291e-03	0.99697	0.91170	0.99985	0.99263
<b>I3</b>	42.7059	28.7579	5.363e-05	1.3311e-03	0.99708	0.91499	0.99981	0.98441	42.6901	28.7605	5.3826e-05	1.3303e-03	0.99696	0.91144	0.99985	0.99265
<b>I4</b>	42.7478	30.2690	5.3115e-05	9.3993e-04	0.9978	0.91987	0.99983	0.98794	42.7313	30.3637	5.3318e-05	9.1967e-04	0.99774	0.92389	0.99987	0.99505
<b>I5</b>	42.6984	37.0535	5.3723e-05	1.9708e-04	0.99756	0.96997	0.99983	0.99697	42.6828	37.2189	5.3916e-05	1.8972e-04	0.99742	0.96785	0.99987	0.99825
<b>I6</b>	42.9056	36.3192	5.1219e-05	2.3339e-04	0.99556	0.97417	0.99978	0.99727	42.8923	36.2952	5.1377e-05	2.3468e-04	0.99547	0.97434	0.99982	0.99853
<b>I7</b>	43.9218	17.5054	4.0534e-05	1.7761e-02	0.97099	0.88906	0.99987	0.97728	43.9051	17.5146	4.0690e-05	1.7723e-02	0.97049	0.89114	0.99989	0.98856
<b>I8</b>	42.5324	36.4056	5.5816e-05	2.2879e-04	0.98927	0.96563	0.99989	0.99646	42.8632	34.9775	5.1722e-05	3.1787e-04	0.99219	0.96751	0.99992	0.99761
<b>I9</b>	43.2954	39.4944	4.6823e-05	1.1235e-04	0.99085	0.97601	0.99991	0.99804	43.6267	36.5711	4.3384e-05	2.2024e-04	0.99295	0.97399	0.99993	0.99820
<b>I10</b>	44.0971	38.8122	3.8931e-05	1.3146e-04	0.99683	0.97036	0.99978	0.99746	44.4292	36.7544	3.6065e-05	2.1114e-04	0.99814	0.97610	0.99982	0.99834
<b>I11</b>	42.7973	38.4049	5.2513e-05	1.4438e-04	0.99974	0.98071	0.99998	0.99871	43.1462	38.6803	4.8460e-05	1.3551e-04	0.99979	0.98710	0.99999	0.99944
<b>I12</b>	42.4709	40.7865	5.6612e-05	8.3435e-05	0.99801	0.98532	0.99983	0.99873	42.8227	39.3022	5.2207e-05	1.1743e-04	0.99880	0.98592	0.99987	0.99923
<b>I13</b>	42.5490	41.8427	5.5603e-05	6.5423e-05	0.99536	0.9867	0.99978	0.99901	42.8644	41.5193	5.1708e-05	7.0481e-05	0.99723	0.98735	0.99983	0.99946

**Çizelge 6.** Yöntem 1 'e göre 0.03 ölçekleme katsayısı kullanılarak her iki damga için elde edilen sonuçlar

Damga	W1						W2					
	Resim	PSNR_I	PSNR_W	MSE_I	MSE_W	SSIM_I	SSIM_W	PSNR_I	PSNR_W	MSE_I	MSE_W	SSIM_I
I1	30.8994	44.0030	0.00081	3.9783e-05	0.98974	0.99144	31.2585	46.1609	0.00074	2.4205e-05	0.99442	0.99601
I2	31.1017	23.8816	0.00077	4.0911e-03	0.95616	0.87865	31.4782	23.6787	0.00071	4.2868e-03	0.96256	0.88448
I3	31.1017	23.8789	0.00077	4.0936e-03	0.95610	0.87877	31.4782	23.6762	0.00071	4.2892e-03	0.9625	0.88455
I4	31.0753	25.0722	0.00078	3.1102e-03	0.96093	0.88332	31.4439	24.9568	0.00071	3.1939e-03	0.96742	0.89651
I5	30.9992	30.2527	0.00079	9.4347e-04	0.95707	0.95488	31.3661	29.9438	0.00073	1.0130e-03	0.96431	0.96117
I6	31.0084	28.6548	0.00079	1.3631e-03	0.94236	0.95057	31.3800	28.1482	0.00072	1.5317e-03	0.95117	0.94460
I7	31.6701	16.6491	0.00068	2.1632e-02	0.82668	0.87572	32.0297	16.9148	0.00062	2.0348e-02	0.84399	0.88952
I8	30.8996	47.1181	0.00081	1.9417e-05	0.92732	0.99404	31.2549	45.5773	0.00074	2.7686e-05	0.94201	0.99590
I9	30.9104	43.5845	0.00081	4.3807e-05	0.93338	0.9895	31.2650	42.5916	0.00074	5.5060e-05	0.9464	0.99129
I10	30.9019	48.3084	0.00081	1.4763e-05	0.94530	0.99653	31.2526	46.6882	0.00074	2.1438e-05	0.95532	0.99632
I11	30.9490	36.4807	0.00080	2.2487e-04	0.99202	0.98357	31.3103	35.9996	0.00073	2.5121e-04	0.99510	0.98632
I12	30.8993	50.9397	0.00081	8.0544e-06	0.96513	0.99768	31.2530	50.1540	0.00074	9.6517e-06	0.97234	0.99785
I13	30.8999	50.0738	0.00081	9.8314e-06	0.95120	0.99687	31.2531	49.2187	0.00074	1.1971e-05	0.96086	0.99744

Çizelge 7. Yöntem 2 'ye göre 0.03 ölçekleme katsayısı kullanılarak her iki damga için elde edilen sonuçlar

Damga	W1						W2					
	Resim	PSNR_I	PSNR_W	MSE_I	MSE_W	SSIM_I	SSIM_W	PSNR_I	PSNR_W	MSE_I	MSE_W	SSIM_I
I1	31.2509	15.9069	0.00074	16.6690	0.97290	0.71279	31.6292	15.1460	0.00068	22.9182	0.97866	0.50508
I2	31.2346	15.1108	0.00075	19.5328	0.95072	0.72564	31.6442	14.0184	0.00068	27.7119	0.95606	0.54058
I3	31.2346	15.1129	0.00075	19.5328	0.95072	0.72601	31.6442	14.0277	0.00068	27.6496	0.95606	0.54023
I4	31.2012	15.1071	0.00075	19.5016	0.95079	0.72505	31.6105	14.0297	0.00069	27.4628	0.95614	0.54012
I5	31.1687	15.1081	0.00076	19.5172	0.95097	0.72525	31.5767	14.0636	0.00069	27.5251	0.95633	0.53966
I6	31.2551	15.1558	0.00074	19.3771	0.95018	0.72531	31.6609	14.0611	0.00068	27.4628	0.95515	0.53997
I7	32.6251	14.8173	0.00054	21.1204	0.92936	0.72415	33.0423	13.9964	0.00049	30.9958	0.93846	0.53920
I8	31.1382	16.8631	0.00076	10.6458	0.93326	0.65101	31.5226	15.4687	0.00070	14.3460	0.94196	0.38670
I9	31.1179	17.0380	0.00077	3.0972	0.95523	0.57634	31.5015	13.8644	0.00070	6.7889	0.96311	0.31682
I10	30.9621	15.1633	0.00080	19.2996	0.95738	0.72467	31.3577	14.0950	0.00073	27.4473	0.96278	0.53951
I11	31.5148	15.1861	0.00070	19.3149	0.98283	0.72548	31.9152	14.0885	0.00064	27.8052	0.98364	0.54076
I12	31.5547	15.2177	0.00069	19.1437	0.97729	0.72494	31.9390	14.1335	0.00063	27.2966	0.97935	0.54012
I13	31.5551	15.2147	0.00069	19.1748	0.97630	0.72533	31.9382	14.1329	0.00063	27.2605	0.97846	0.53994

**Çizelge 8.** Yöntem 3 'e göre 0.03 ölçekleme katsayısı kullanılarak her iki damga için elde edilen sonuçlar

Damga	W1						W2					
	Resim	PSNR_I	PSNR_W	MSE_I	MSE_W	SSIM_I	SSIM_W	PSNR_I	PSNR_W	MSE_I	MSE_W	SSIM_I
I1	34.6788	43.9259	0.00034	4.0496e-05	0.99436	0.99378	35.0181	43.7043	0.00031	4.2616e-05	0.99731	0.99485
I2	33.3047	24.9636	0.00046	3.1889 e-03	0.97020	0.87849	33.6871	24.6454	0.00042	3.4313e-03	0.97520	0.90164
I3	33.3046	24.9649	0.00046	3.1879e-03	0.97016	0.87877	33.6873	24.6447	0.00042	3.4319e-03	0.97519	0.90213
I4	33.3429	26.2247	0.00046	2.3852e-03	0.97384	0.89227	33.7156	26.0710	0.00042	2.4712e-03	0.97869	0.91580
I5	33.2793	32.2180	0.00046	6.0007e-04	0.97161	0.96673	33.6477	31.8655	0.00043	6.508e-04	0.97650	0.97215
I6	33.4977	30.6079	0.00044	8.6938e-04	0.96219	0.96277	33.8725	30.0325	0.00040	9.9254e-04	0.96834	0.96129
I7	34.5290	16.7829	0.00035	2.0976e-02	0.87515	0.86805	34.8929	17.0487	0.00032	1.973e-02	0.89145	0.90063
I8	33.0296	47.7797	0.00049	1.6674e-05	0.94592	0.99594	33.3826	47.4469	0.00045	1.8002e-05	0.95746	0.99695
I9	33.8344	46.2181	0.00041	2.3889e-05	0.95496	0.99461	34.1924	44.6910	0.00038	3.3955e-05	0.96537	0.99470
I10	34.6645	47.9326	0.00034	1.6097e-05	0.97126	0.99669	35.0311	47.1657	0.00031	1.9206e-05	0.97803	0.99706
I11	33.2592	38.8135	0.00047	1.3142e-04	0.99504	0.98939	33.6228	38.4349	0.00043	1.4339e-04	0.99743	0.99073
I12	33.0125	51.7616	0.00049	6.6656e-06	0.97587	0.99782	33.3654	50.8981	0.00046	8.1319e-06	0.98095	0.99807
I13	33.0405	50.8718	0.00049	8.1812e-06	0.96553	0.99744	33.3915	50.4247	0.00045	9.0683e-06	0.97330	0.99777

**Çizelge 9.** Yöntem 1 'e göre 0.05 ölçekleme katsayısı kullanılarak her iki damga için elde edilen sonuçlar

Damga	W1						W2					
	Resim	PSNR_I	PSNR_W	MSE_I	MSE_W	SSIM_I	SSIM_W	PSNR_I	PSNR_W	MSE_I	MSE_W	SSIM_I
<b>I1</b>	26.4907	26.4907	0.00224	0.00006	0.97668	0.99149	26.8407	43.2934	0.00206	0.00004	0.98722	0.99580
<b>I2</b>	26.7278	22.1930	0.00212	0.00603	0.90842	0.85129	27.1156	21.9433	0.00194	0.00639	0.92038	0.85922
<b>I3</b>	26.7276	22.1909	0.00212	0.00603	0.90833	0.85128	27.1155	21.9420	0.00194	0.00639	0.92028	0.85911
<b>I4</b>	26.7096	23.0280	0.00213	0.00497	0.91689	0.85499	27.0872	22.8920	0.00195	0.00513	0.92973	0.87109
<b>I5</b>	26.6237	26.7690	0.00217	0.00210	0.90989	0.92160	26.9955	26.5354	0.00199	0.00222	0.92189	0.93456
<b>I6</b>	26.6280	25.7223	0.00217	0.00267	0.88603	0.92115	27.0068	25.2365	0.00199	0.00299	0.89976	0.91362
<b>I7</b>	27.2621	16.5790	0.00187	0.02198	0.73389	0.87701	27.6264	16.8074	0.00172	0.02085	0.75461	0.88781
<b>I8</b>	26.4711	45.6032	0.00225	0.00002	0.87253	0.99492	26.8264	43.4500	0.00207	0.00004	0.89146	0.99620
<b>I9</b>	26.4821	41.1101	0.00224	0.00007	0.88240	0.98826	26.8381	40.0491	0.00207	0.00009	0.90045	0.99035
<b>I10</b>	26.4698	47.0078	0.00225	0.00001	0.89255	0.99663	26.8233	45.7822	0.00207	0.00002	0.90807	0.99658
<b>I11</b>	26.5802	30.8404	0.00219	0.00082	0.97893	0.96528	26.9556	30.1207	0.00201	0.00097	0.98578	0.97082
<b>I12</b>	26.4731	48.4368	0.00225	0.00001	0.92552	0.99736	26.8253	47.8037	0.00207	0.00001	0.9393	0.99769
<b>I13</b>	26.4721	48.7150	0.00225	0.00001	0.90244	0.99725	26.8234	47.9662	0.00207	0.00001	0.91805	0.99766

**Çizelge 10.** Yöntem 2 'ye göre 0.05 ölçekleme katsayısı kullanılarak her iki damga için elde edilen sonuçlar

Damga	W1						W2					
	Resim	PSNR_I	PSNR_W	MSE_I	MSE_W	SSIM_I	SSIM_W	PSNR_I	PSNR_W	MSE_I	MSE_W	SSIM_I
<b>I1</b>	26.9728	16.0791	0.00200	15.9686	0.94884	0.71012	27.3403	15.3012	0.00184	21.5174	0.95574	0.49338
<b>I2</b>	26.9718	15.3865	0.00200	18.2877	0.91689	0.72462	27.3864	14.2211	0.00182	25.5018	0.92350	0.53656
<b>I3</b>	26.9719	15.3932	0.00200	18.2575	0.91690	0.72483	27.3863	14.2315	0.00182	25.4688	0.92351	0.53629
<b>I4</b>	26.9308	15.3877	0.00202	18.2114	0.91706	0.72352	27.3446	14.2209	0.00184	25.3617	0.92363	0.53493
<b>I5</b>	26.8899	15.4016	0.00204	18.2254	0.91710	0.72487	27.2998	14.2489	0.00186	25.4551	0.92374	0.53554
<b>I6</b>	27.0207	15.4613	0.00198	17.9608	0.91433	0.72276	27.4284	14.2695	0.00180	25.0854	0.92113	0.53251
<b>I7</b>	28.2261	15.0262	0.00150	20.2798	0.88525	0.72474	28.6464	14.1833	0.00136	29.7663	0.89676	0.53971
<b>I8</b>	26.7823	16.9932	0.00209	9.7119	0.88565	0.64624	27.1634	15.4144	0.00192	13.6768	0.89575	0.38258
<b>I9</b>	26.7654	16.9524	0.00210	2.1634	0.91784	0.56362	27.1491	13.7270	0.00192	6.3239	0.92661	0.31132
<b>I10</b>	26.5429	15.4352	0.00221	18.0075	0.92266	0.72381	26.9443	14.2626	0.00202	25.3617	0.93045	0.53474
<b>I11</b>	27.3359	15.4712	0.00184	18.0542	0.97143	0.72388	27.7252	27.7252	0.00168	25.2061	0.97167	0.53220
<b>I12</b>	27.3610	15.5392	0.00183	17.7587	0.95891	0.72339	27.7467	14.3344	0.00168	24.8481	0.96098	0.53092
<b>I13</b>	27.3607	15.4851	0.00183	18.0231	0.95699	0.72520	27.7470	14.3264	0.00168	25.0349	0.95923	0.53233

Çizelge 11. Yöntem 3 'e göre 0.05 ölçekleme katsayısı kullanılarak her iki damga için elde edilen sonuçlar

Damga	W1						W2					
	Resim	PSNR_I	PSNR_W	MSE_I	MSE_W	SSIM_I	SSIM_W	PSNR_I	PSNR_W	MSE_I	MSE_W	SSIM_I
I1	30.2467	45.4512	0.00094	2.8503e-05	0.98842	0.99597	30.6019	48.0338	0.00087	1.5726e-05	0.99417	0.99836
I2	28.9217	23.3139	0.00128	4.6625e-03	0.93503	0.85166	29.3091	23.0101	0.00117	5.0003e-03	0.94472	0.87784
I3	28.9215	23.3140	0.00128	4.6622e-03	0.93494	0.85174	29.3090	23.0084	0.00117	5.0022e-03	0.94463	0.87789
I4	28.9558	24.3671	0.00127	3.6584e-03	0.94277	0.86606	29.3367	24.1483	0.00116	3.8474e-03	0.95194	0.88944
I5	28.8912	28.8940	0.00129	1.2900e-03	0.93668	0.94356	29.2667	28.5470	0.00118	1.3973e-03	0.94685	0.95472
I6	29.1041	27.7950	0.00122	1.6615e-03	0.92019	0.94001	29.4801	27.2630	0.00112	1.8780e-03	0.93144	0.93894
I7	30.1205	16.6878	0.00097	2.1440e-02	0.79429	0.86944	30.4861	16.9273	0.00089	2.0289e-02	0.81389	0.89840
I8	28.5942	47.5415	0.00138	1.7614e-05	0.89981	0.99699	28.9490	45.0795	0.00127	3.1049e-05	0.9178	0.99736
I9	29.4086	43.9949	0.00114	3.9858e-05	0.91661	0.99349	29.7640	42.6241	0.00105	5.4651e-05	0.93275	0.99361
I10	30.2390	49.8404	0.00094	1.0374e-05	0.93774	0.99815	30.5939	48.1058	0.00087	1.5467e-05	0.94922	0.99764
I11	28.8592	34.5414	0.00130	3.5145e-04	0.98641	0.98160	29.2287	33.8244	0.00119	4.1453e-04	0.99144	0.98366
I12	28.5820	51.5034	0.00138	7.0738e-06	0.94728	0.99844	28.9367	50.7954	0.00127	8.3264e-06	0.95718	0.99849
I13	28.6086	51.0292	0.00137	7.8900e-06	0.92781	0.99821	28.9623	50.1462	0.00126	9.669e-06	0.94187	0.99838

**Çizelge 12.** Yöntem 1 'e göre 0.1 ölçekleme katsayısı kullanılarak her iki damga için elde edilen sonuçlar

Damga	W1						W2					
	Resim	PSNR_I	PSNR_W	MSE_I	MSE_W	SSIM_I	SSIM_W	PSNR_I	PSNR_W	MSE_I	MSE_W	SSIM_I
<b>I1</b>	20.6387	30.6895	0.00863	0.00085	0.93397	0.97662	20.9677	31.9363	0.00800	0.00064	0.95883	0.98425
<b>I2</b>	20.8685	19.2605	0.00818	0.01185	0.79852	0.78959	21.2764	18.9397	0.00745	0.01276	0.81634	0.80303
<b>I3</b>	20.8685	19.2585	0.00818	0.01186	0.79845	0.78973	21.2764	18.9386	0.00745	0.01276	0.81629	0.80302
<b>I4</b>	20.8682	19.8344	0.00818	0.01038	0.81166	0.80582	21.2631	19.6511	0.00747	0.01083	0.83057	0.82159
<b>I5</b>	20.7797	21.6326	0.00835	0.00686	0.79945	0.84204	21.1720	21.4004	0.00763	0.00724	0.81828	0.86563
<b>I6</b>	20.7378	21.6102	0.00843	0.00690	0.76156	0.8587	21.1377	21.1442	0.00769	0.00768	0.78076	0.85580
<b>I7</b>	21.3395	16.2745	0.00734	0.02358	0.58263	0.87747	21.7116	16.4247	0.00674	0.02277	0.60292	0.87924
<b>I8</b>	20.4912	37.4395	0.00893	0.00018	0.76634	0.98743	20.8506	36.0683	0.00822	0.00024	0.78832	0.98913
<b>I9</b>	20.4948	35.4957	0.00892	0.00028	0.78986	0.97779	20.8557	34.3631	0.00821	0.00036	0.80915	0.98428
<b>I10</b>	20.4556	42.3348	0.00900	0.00005	0.77093	0.99436	20.8117	40.8451	0.00829	0.00008	0.79203	0.99337
<b>I11</b>	20.8517	21.3040	0.00821	0.00740	0.93390	0.88195	21.2669	20.7802	0.00746	0.00835	0.94976	0.90254
<b>I12</b>	20.5955	32.8189	0.00871	0.00052	0.82975	0.98489	20.9530	32.9485	0.00802	0.00050	0.84890	0.98836
<b>I13</b>	20.5287	36.2830	0.00885	0.00023	0.79396	0.99000	20.8894	35.6096	0.00814	0.00027	0.81630	0.99001

Çizelge 13. Yöntem 2 'ye göre 0.1 ölçekleme katsayısı kullanılarak her iki damga için elde edilen sonuçlar

Damga	W1						W2					
	Resim	PSNR_I	PSNR_W	MSE_I	MSE_W	SSIM_I	SSIM_W	PSNR_I	PSNR_W	MSE_I	MSE_W	SSIM_I
I1	21.2509	16.4248	0.00749	14.6613	0.88909	0.70614	21.6190	15.4698	0.00688	19.7898	0.90043	0.47755
I2	21.3719	16.1357	0.00729	15.2682	0.84370	0.71855	21.8075	14.5766	0.00659	20.3812	0.85131	0.50776
I3	21.3718	16.1491	0.00729	15.2216	0.84375	0.71835	21.8074	14.5785	0.00659	20.3220	0.85134	0.50713
I4	21.3055	16.1361	0.00740	15.2216	0.84454	0.71819	21.7404	14.5660	0.00669	20.4124	0.85194	0.50804
I5	21.2689	16.1441	0.00746	15.1904	0.84418	0.71788	21.6948	14.6238	0.00676	20.3034	0.85166	0.50741
I6	21.4402	16.2051	0.00717	14.9570	0.83605	0.71611	21.8661	14.6735	0.00650	20.1011	0.84441	0.50568
I7	22.4443	15.4158	0.00569	18.5834	0.80155	0.72307	22.8586	14.4750	0.00517	26.9959	0.81431	0.53687
I8	20.9457	17.2142	0.00804	8.3267	0.78632	0.64070	21.3202	15.2278	0.00737	12.4161	0.79686	0.37707
I9	20.8910	16.7140	0.00814	1.0272	0.83519	0.54125	21.2771	13.2260	0.00745	4.5200	0.84441	0.29629
I10	20.5949	16.1432	0.00871	15.1437	0.83975	0.71820	21.0003	14.6534	0.00794	20.6614	0.85017	0.51101
I11	21.9015	16.2485	0.00645	14.8636	0.94149	0.71494	22.3197	14.7183	0.00586	19.9509	0.94007	0.50292
I12	21.7931	16.2871	0.00661	14.7235	0.91057	0.71458	22.1942	14.7801	0.00603	19.5252	0.91297	0.49930
I13	21.7999	16.2682	0.00660	14.8169	0.90528	0.71593	22.2000	14.7739	0.00602	19.7724	0.90800	0.50282

**Çizelge 14.** Yöntem 3 'e göre 0.1 ölçekleme katsayısı kullanılarak her iki damga için elde edilen sonuçlar

Damga	W1						W2					
	Resim	PSNR_I	PSNR_W	MSE_I	MSE_W	SSIM_I	SSIM_W	PSNR_I	PSNR_W	MSE_I	MSE_W	SSIM_I
<b>I1</b>	24.2707	40.9542	0.00374	0.00008	0.96274	0.99490	24.6199	41.8256	0.00345	0.00006	0.98101	0.99695
<b>I2</b>	23.0147	20.7633	0.00499	0.00838	0.84442	0.80506	23.4200	20.3757	0.00454	0.00917	0.86107	0.83126
<b>I3</b>	23.0147	20.7616	0.00499	0.00839	0.84436	0.80510	23.4200	20.3741	0.00454	0.00917	0.86101	0.83124
<b>I4</b>	23.0614	21.4410	0.00494	0.00717	0.85710	0.81981	23.4562	21.2011	0.00451	0.00758	0.87443	0.84430
<b>I5</b>	22.9919	23.9491	0.00502	0.00402	0.84772	0.87939	23.3792	23.6638	0.00459	0.00430	0.86457	0.90367
<b>I6</b>	23.1773	23.7439	0.00481	0.00422	0.81838	0.88677	23.5726	23.1581	0.00439	0.00483	0.83695	0.88714
<b>I7</b>	24.1557	16.5859	0.00384	0.02194	0.65336	0.87234	24.5233	16.7715	0.00352	0.02103	0.67590	0.89171
<b>I8</b>	22.5942	41.2985	0.00550	0.00007	0.80829	0.99334	22.9549	39.1925	0.00506	0.00012	0.83073	0.99410
<b>I9</b>	23.4042	39.3648	0.00456	0.00011	0.83966	0.98882	23.7647	37.8646	0.00420	0.00016	0.85921	0.99047
<b>I10</b>	24.2259	47.6961	0.00377	0.00001	0.85170	0.99788	24.5811	46.2613	0.00348	0.00002	0.87221	0.99767
<b>I11</b>	23.0151	25.1215	0.00499	0.00307	0.95510	0.92573	23.4194	24.2256	0.00455	0.00377	0.96781	0.93796
<b>I12</b>	22.6149	40.2554	0.00547	0.00009	0.86813	0.99465	22.9717	40.2647	0.00504	0.00009	0.88599	0.99567
<b>I13</b>	22.6109	44.0122	0.00548	0.00003	0.83676	0.99660	22.9685	43.2470	0.00504	0.00004	0.85815	0.99666

Çizelge 15. Yöntem 1 'e göre 0.25 ölçekleme katsayısı kullanılarak her iki damga için elde edilen sonuçlar

Damga	W1						W2					
	Resim	PSNR_I	PSNR_W	MSE_I	MSE_W	SSIM_I	SSIM_W	PSNR_I	PSNR_W	MSE_I	MSE_W	SSIM_I
I1	15.0288	11.2836	0.03141	0.07441	0.77955	0.84502	15.2374	12.0837	0.02994	0.06189	0.82872	0.85792
I2	13.5629	13.7285	0.04402	0.04237	0.56402	0.57512	14.0136	13.4770	0.03968	0.04490	0.58564	0.59887
I3	13.5628	13.7283	0.04402	0.04238	0.56402	0.57507	14.0136	13.4769	0.03968	0.04490	0.58562	0.59886
I4	13.6489	13.7088	0.04316	0.04257	0.57877	0.60472	14.0856	13.5773	0.03903	0.04388	0.60163	0.59982
I5	13.5093	14.4576	0.04457	0.03582	0.56717	0.63020	13.9595	14.2126	0.04018	0.03790	0.58797	0.65191
I6	13.2435	16.0987	0.04738	0.02455	0.52337	0.71030	13.6722	15.6761	0.04293	0.02706	0.54238	0.70481
I7	13.8375	13.8151	0.04132	0.04154	0.38424	0.77427	14.2589	13.7698	0.03750	0.04197	0.39535	0.76440
I8	13.1527	21.1103	0.04838	0.00774	0.54644	0.92188	13.4651	21.6761	0.04502	0.00679	0.56509	0.93612
I9	12.8475	23.9902	0.05191	0.00399	0.58018	0.9107	12.8475	23.9902	0.05191	0.00399	0.58018	0.91070
I10	12.5198	33.4144	0.05597	0.00045	0.53338	0.97855	12.8872	31.4724	0.05143	0.00071	0.55177	0.96962
I11	14.1265	12.1996	0.03866	0.06026	0.78752	0.65615	14.6023	11.9577	0.03465	0.06371	0.81833	0.68602
I12	13.6075	16.3319	0.04357	0.02327	0.61672	0.84268	14.0208	16.2764	0.03962	0.02357	0.63902	0.85453
I13	13.2938	18.3255	0.04684	0.01470	0.57224	0.86835	13.7007	17.9749	0.04265	0.01594	0.59662	0.86190

**Çizelge 16.** Yöntem 2 'ye göre 0.25 ölçekleme katsayısı kullanılarak her iki damga için elde edilen sonuçlar

Damga	W1						W2					
	Resim	PSNR_I	PSNR_W	MSE_I	MSE_W	SSIM_I	SSIM_W	PSNR_I	PSNR_W	MSE_I	MSE_W	SSIM_I
<b>I1</b>	15.0153	17.2451	0.03151	10.9103	0.72970	0.68886	15.3030	15.3710	0.02949	13.8132	0.74409	0.41380
<b>I2</b>	14.3059	17.5059	0.03710	8.2333	0.67995	0.67831	14.7721	14.8165	0.03332	11.5409	0.68778	0.39834
<b>I3</b>	14.3058	17.5205	0.03710	8.2022	0.68005	0.67795	14.7721	14.8228	0.03332	11.4943	0.68787	0.39707
<b>I4</b>	14.2215	17.4998	0.03783	8.4045	0.68290	0.67946	14.6884	14.8204	0.03397	11.4786	0.69043	0.39711
<b>I5</b>	14.2286	17.4987	0.03777	8.3734	0.68170	0.67814	14.6899	14.8444	0.03396	11.5986	0.68923	0.39773
<b>I6</b>	14.3290	17.5412	0.03690	7.9999	0.66351	0.67539	14.7875	14.8640	0.03320	11.4942	0.67175	0.39510
<b>I7</b>	15.4867	16.6787	0.02827	13.5406	0.64269	0.70760	15.9624	15.1067	0.02533	17.0982	0.65323	0.47500
<b>I8</b>	13.5768	17.1522	0.04388	4.9493	0.58947	0.59530	13.9425	14.1972	0.04034	8.0618	0.59249	0.32836
<b>I9</b>	13.4926	16.2914	0.04474	0.0000	0.64423	0.51265	13.8609	12.0426	0.04110	0.0000	0.64035	0.24573
<b>I10</b>	13.1197	17.4964	0.04875	8.3890	0.65205	0.68052	13.5106	14.9010	0.04456	11.7899	0.66085	0.40223
<b>I11</b>	15.2669	17.5895	0.02973	7.8909	0.83899	0.67209	15.7364	14.8813	0.02669	11.3853	0.83465	0.39120
<b>I12</b>	14.8718	17.5846	0.03257	7.6575	0.76973	0.67120	15.2877	14.8993	0.02959	11.3505	0.76953	0.39039
<b>I13</b>	14.9137	17.5903	0.03225	7.7664	0.75715	0.67137	15.3254	14.8635	0.02934	11.2763	0.75664	0.38867

Çizelge 17. Yöntem 3 'e göre 0.25 ölçekleme katsayısı kullanılarak her iki damga için elde edilen sonuçlar

Damga	W1						W2					
	Resim	PSNR_I	PSNR_W	MSE_I	MSE_W	SSIM_I	SSIM_W	PSNR_I	PSNR_W	MSE_I	MSE_W	SSIM_I
I1	17.2046	18.8915	0.01903	0.01290	0.86457	0.92793	17.4660	20.0759	0.01792	0.00982	0.90254	0.94259
I2	15.5193	15.4951	0.02805	0.02821	0.63610	0.62118	15.9706	15.1138	0.02529	0.03080	0.65868	0.65672
I3	15.5193	15.4949	0.02805	0.02821	0.63608	0.62122	15.9706	15.1130	0.02529	0.03081	0.65864	0.65665
I4	15.6137	15.7420	0.02745	0.02665	0.65242	0.65390	16.0523	15.4912	0.02481	0.02824	0.67659	0.66682
I5	15.5281	16.5750	0.02800	0.02200	0.64106	0.68272	15.9714	16.2337	0.02528	0.02380	0.66307	0.72254
I6	15.5115	18.1814	0.02810	0.01520	0.60256	0.74530	15.9429	17.6560	0.02545	0.01715	0.62372	0.75692
I7	16.4479	15.3252	0.02265	0.02934	0.45360	0.81543	16.8501	15.3301	0.02065	0.02930	0.46881	0.82871
I8	14.9563	25.6932	0.03194	0.00269	0.61334	0.94151	15.3103	25.7248	0.02944	0.00267	0.63589	0.95805
I9	15.5723	29.1710	0.02771	0.00121	0.66938	0.95284	15.9437	28.2111	0.02544	0.00150	0.69111	0.96398
I10	16.2766	40.0350	0.02356	0.00009	0.65060	0.99227	16.6375	37.7743	0.02168	0.00016	0.67461	0.99010
I11	15.9976	14.0235	0.02513	0.03959	0.83748	0.69849	16.4803	13.7654	0.02248	0.04202	0.86636	0.74415
I12	15.3541	19.5097	0.02914	0.01119	0.68014	0.89278	15.7566	19.4370	0.02656	0.01138	0.70413	0.91362
I13	15.1494	21.5013	0.03055	0.00707	0.63738	0.90710	15.5553	21.0352	0.02782	0.00787	0.66385	0.91036

**Çizelge 18.** Yöntem 1 'e göre 0.5 ölçekleme katsayısı kullanılarak her iki damga için elde edilen sonuçlar

Damga	W1						W2					
	Resim	PSNR_I	PSNR_W	MSE_I	MSE_W	SSIM_I	SSIM_W	PSNR_I	PSNR_W	MSE_I	MSE_W	SSIM_I
<b>I1</b>	12.9505	5.3287	0.05069	0.29318	0.64047	0.63839	13.0924	5.8735	0.04906	0.25861	0.70235	0.60994
<b>I2</b>	8.9330	10.0096	0.12785	0.09977	0.35711	0.51541	9.3080	10.0373	0.11727	0.09914	0.37471	0.46604
<b>I3</b>	8.9330	10.0094	0.12785	0.09978	0.35710	0.51526	9.3079	10.0369	0.11728	0.09915	0.37471	0.46591
<b>I4</b>	9.1362	9.6430	0.12201	0.10857	0.36730	0.51842	9.5131	9.7321	0.11186	0.10636	0.38547	0.46097
<b>I5</b>	8.8249	10.2526	0.13107	0.09435	0.35917	0.52503	9.2344	10.2240	0.11928	0.09497	0.37683	0.47986
<b>I6</b>	8.4399	11.3485	0.14322	0.07330	0.32941	0.56983	8.8599	11.2030	0.13002	0.07580	0.34402	0.51854
<b>I7</b>	8.8682	10.0110	0.12977	0.09974	0.24019	0.53381	9.3374	9.9659	0.11648	0.10079	0.24768	0.50761
<b>I8</b>	9.2268	10.8801	0.11949	0.08165	0.36503	0.81875	9.4362	11.5970	0.11386	0.06923	0.37267	0.82173
<b>I9</b>	8.4238	13.2232	0.14375	0.04760	0.38176	0.82723	8.6504	13.9481	0.13644	0.04029	0.39143	0.83277
<b>I10</b>	7.2117	19.5087	0.19003	0.01119	0.36091	0.89150	7.5940	19.0611	0.17402	0.01241	0.37215	0.86518
<b>I11</b>	9.8044	8.5337	0.10461	0.14016	0.60766	0.57508	10.1313	8.7233	0.09702	0.13418	0.64901	0.54020
<b>I12</b>	9.0498	10.6827	0.12446	0.08545	0.42274	0.70322	9.4068	10.8166	0.11464	0.08285	0.44025	0.66124
<b>I13</b>	8.6243	11.9128	0.13727	0.06437	0.39070	0.73191	8.9987	11.9199	0.12593	0.06427	0.40930	0.68398

Çizelge 19. Yöntem 2 'ye göre 0.5 ölçekleme katsayısı kullanılarak her iki damga için elde edilen sonuçlar

Damga	W1						W2					
	Resim	PSNR_I	PSNR_W	MSE_I	MSE_W	SSIM_I	SSIM_W	PSNR_I	PSNR_W	MSE_I	MSE_W	SSIM_I
I1	12.1823	17.3528	0.06050	4.27480	0.60779	0.60925	12.4161	14.5555	0.05733	9.11290	0.61918	0.36099
I2	9.5275	16.7286	0.11149	0.87158	0.50876	0.54463	9.9388	12.4404	0.10142	1.68040	0.51247	0.27733
I3	9.5274	16.7195	0.11150	0.85602	0.50887	0.54356	9.9387	12.4262	0.10142	1.68040	0.51257	0.27659
I4	9.4801	16.7503	0.11272	0.94940	0.51156	0.54641	9.8955	12.4599	0.10244	1.68040	0.51613	0.27866
I5	9.5278	16.7665	0.11149	1.01170	0.51269	0.54839	9.9355	12.4857	0.10150	1.83610	0.5159	0.28122
I6	9.5098	16.7448	0.11195	0.96497	0.49414	0.54620	9.9303	12.2236	0.10162	0.71887	0.49762	0.26553
I7	10.7553	17.6370	0.08403	6.52130	0.48051	0.64927	11.2618	14.7515	0.07478	10.0964	0.48709	0.37255
I8	9.1883	16.6987	0.12055	1.32290	0.40478	0.54230	9.5106	13.0618	0.11193	3.92420	0.40020	0.28540
I9	8.7853	16.2914	0.13227	0.00000	0.43285	0.51265	9.1143	12.0426	0.12262	0.00000	0.42391	0.24573
I10	8.2849	16.7591	0.14843	0.96497	0.48691	0.54811	8.6487	12.3949	0.13650	1.46280	0.48646	0.27769
I11	10.7492	16.7357	0.08415	0.93384	0.69008	0.54312	11.2213	12.1131	0.07548	0.14435	0.68519	0.25282
I12	10.1298	16.6821	0.09705	0.77820	0.59707	0.53796	10.5666	12.0861	0.08776	0.16052	0.59315	0.25156
I13	10.0821	16.6359	0.09812	0.66925	0.58554	0.53465	10.5161	12.0929	0.08879	0.16217	0.57960	0.25054

**Çizelge 20.** Yöntem 3 'e göre 0.5 ölçekleme katsayısı kullanılarak her iki damga için elde edilen sonuçlar

Damga	W1						W2					
	Resim	PSNR_I	PSNR_W	MSE_I	MSE_W	SSIM_I	SSIM_W	PSNR_I	PSNR_W	MSE_I	MSE_W	SSIM_I
<b>I1</b>	14.1108	8.4566	0.03880	0.14267	0.72036	0.77700	14.2867	9.1422	0.03726	0.12184	0.78264	0.78054
<b>I2</b>	10.4224	11.7423	0.09073	0.06695	0.42841	0.49914	10.8539	11.5606	0.08215	0.06981	0.44969	0.47694
<b>I3</b>	10.4224	11.7420	0.09073	0.06695	0.42838	0.49910	10.8538	11.5605	0.08215	0.06981	0.44966	0.47691
<b>I4</b>	10.6336	11.4487	0.08642	0.07163	0.44195	0.50651	11.0561	11.3826	0.07841	0.07273	0.46462	0.46814
<b>I5</b>	10.3951	12.1528	0.09130	0.06091	0.43401	0.52290	10.8498	11.9455	0.08222	0.06389	0.45449	0.50587
<b>I6</b>	10.2725	13.6515	0.09391	0.04313	0.40494	0.60275	10.7183	13.3349	0.08475	0.04639	0.42278	0.57860
<b>I7</b>	11.0821	12.1784	0.07794	0.06055	0.30671	0.62405	11.5427	12.0390	0.07010	0.06253	0.31585	0.61870
<b>I8</b>	10.3934	13.9305	0.09133	0.04045	0.42518	0.86587	10.6326	14.7429	0.08644	0.03355	0.44037	0.88105
<b>I9</b>	10.2628	18.7811	0.09412	0.01324	0.47542	0.87633	10.5894	19.1011	0.08730	0.01230	0.49381	0.89008
<b>I10</b>	10.3072	32.6427	0.09317	0.00054	0.46229	0.97459	10.6751	30.4244	0.08560	0.00090	0.48007	0.96454
<b>I11</b>	11.1993	10.2691	0.07587	0.09399	0.67865	0.58458	11.6466	10.1961	0.06844	0.09558	0.71916	0.58320
<b>I12</b>	10.4546	12.7323	0.09006	0.05330	0.48487	0.73976	10.8730	12.6841	0.08179	0.05390	0.50770	0.72319
<b>I13</b>	10.1484	14.1745	0.09664	0.03824	0.44707	0.78110	10.5511	14.0198	0.08808	0.03963	0.47134	0.75430

Çizelge 21. Yöntem 1 'e göre 0.75 ölçekleme katsayısı kullanılarak her iki damga için elde edilen sonuçlar

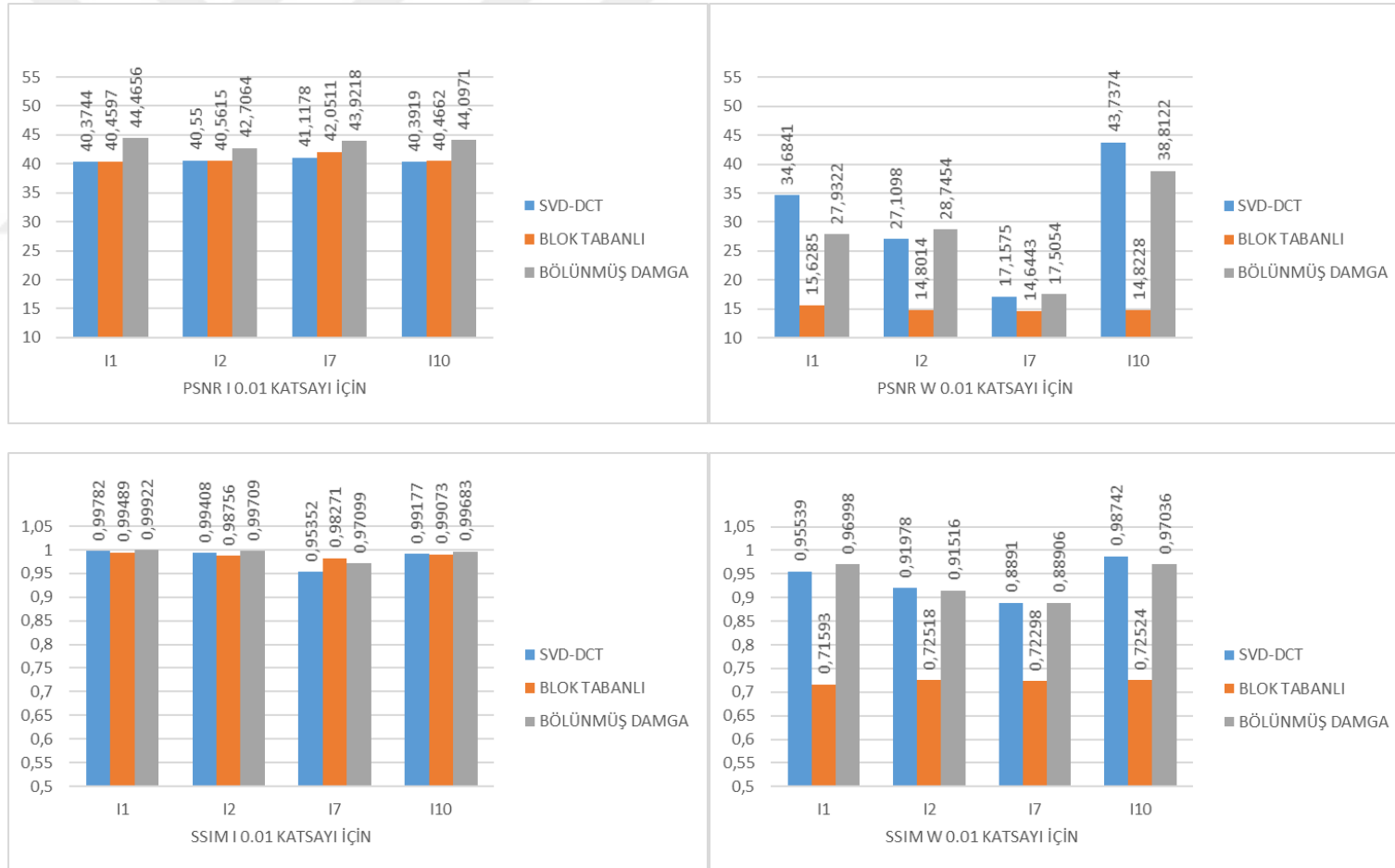
Damga	W1						W2					
	Resim	PSNR_I	PSNR_W	MSE_I	MSE_W	SSIM_I	SSIM_W	PSNR_I	PSNR_W	MSE_I	MSE_W	SSIM_I
I1	12.0365	3.6370	0.06256	0.43281	0.57220	0.48215	12.2459	4.0866	0.05962	0.39025	0.63057	0.43614
I2	6.9501	7.6531	0.20183	0.17167	0.27127	0.48642	7.2594	7.8684	0.18796	0.16337	0.28116	0.41888
I3	6.9500	7.6529	0.20184	0.17168	0.27127	0.48627	7.2592	7.8681	0.18797	0.16338	0.28115	0.41868
I4	7.1394	7.3870	0.19322	0.18252	0.27699	0.48673	7.4632	7.6063	0.17934	0.17353	0.28727	0.41241
I5	6.8368	7.7913	0.20717	0.16629	0.26914	0.48499	7.1486	7.9818	0.19281	0.15915	0.27940	0.41835
I6	6.3923	8.5353	0.22949	0.14011	0.24337	0.50285	6.7092	8.6709	0.21334	0.1358	0.25246	0.42962
I7	6.4795	7.8584	0.22493	0.16374	0.17275	0.42940	6.9346	7.8967	0.20255	0.16231	0.17778	0.37478
I8	7.7031	7.3451	0.16970	0.18428	0.28635	0.71613	7.9091	7.8978	0.16184	0.16226	0.28998	0.69783
I9	7.0947	8.2816	0.19522	0.14854	0.30231	0.73730	7.2617	8.9078	0.18786	0.12859	0.30599	0.72582
I10	4.8852	13.0101	0.32469	0.05000	0.28961	0.75116	5.1970	13.0592	0.30221	0.04944	0.29836	0.69395
I11	8.9226	5.6242	0.12815	0.27389	0.51833	0.48727	8.9429	6.1354	0.12756	0.24348	0.54537	0.42593
I12	7.1712	7.8036	0.19182	0.16582	0.34012	0.61664	7.3999	8.1722	0.18197	0.15233	0.34862	0.55311
I13	6.6175	8.6883	0.21790	0.13526	0.32186	0.62969	6.8765	8.9898	0.20528	0.12619	0.33225	0.56350

**Çizelge 22.** Yöntem 2 'ye göre 0.75 ölçekleme katsayısı kullanılarak her iki damga için elde edilen sonuçlar

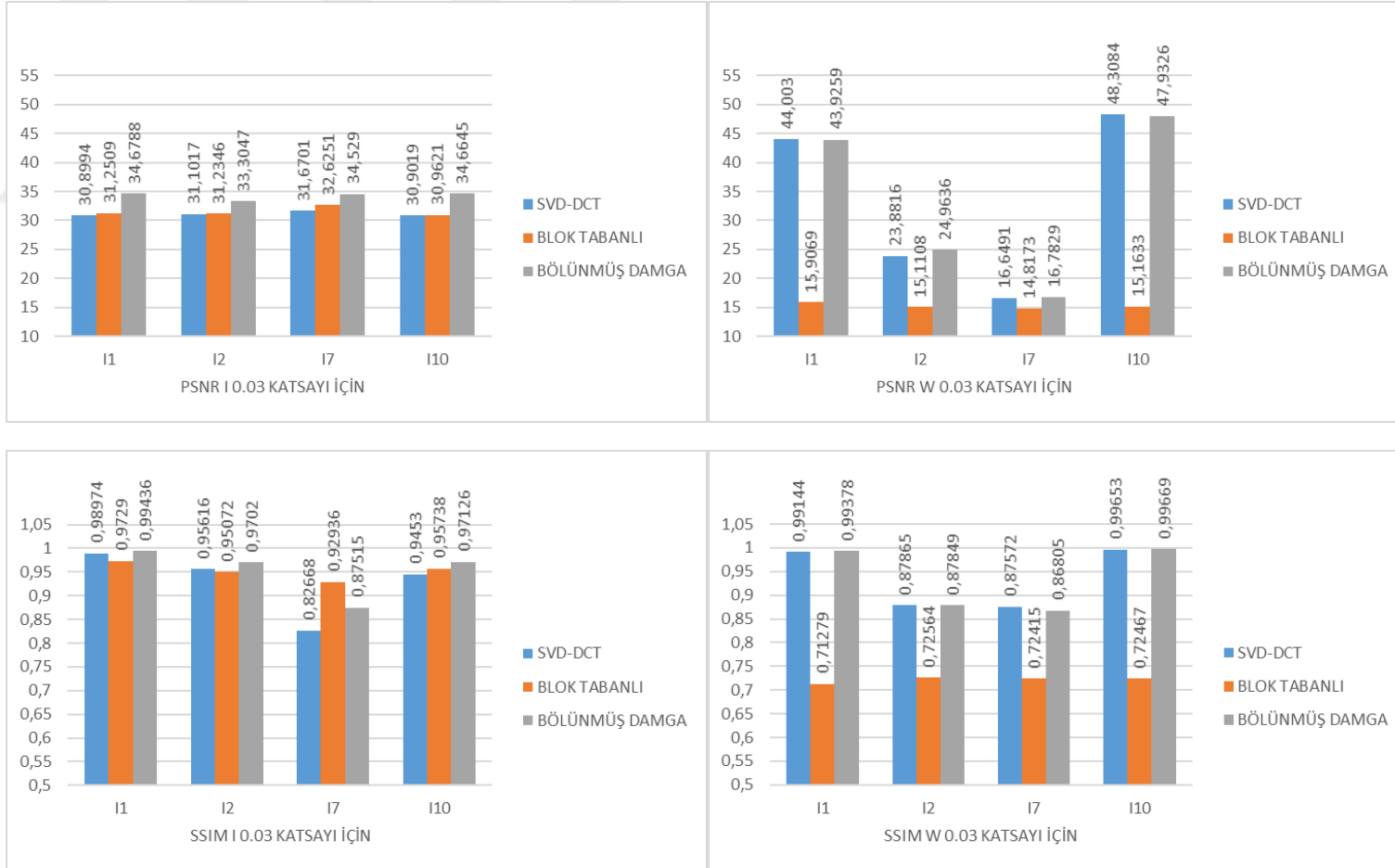
Damga	W1						W2					
	Resim	PSNR_I	PSNR_W	MSE_I	MSE_W	SSIM_I	SSIM_W	PSNR_I	PSNR_W	MSE_I	MSE_W	SSIM_I
<b>I1</b>	10.8175	16.6734	0.08284	0.91827	0.55811	0.54041	11.0525	12.9683	0.07847	3.65570	0.56726	0.28278
<b>I2</b>	7.2808	16.4015	0.18703	0.18677	0.40893	0.51937	7.6284	12.1056	0.17265	0.25934	0.40681	0.24945
<b>I3</b>	7.2808	16.3847	0.18703	0.17120	0.40902	0.51858	7.6283	12.0922	0.17265	0.18152	0.40688	0.24896
<b>I4</b>	7.2808	16.3981	0.18704	0.20233	0.40952	0.52005	7.6280	12.1629	0.17266	0.52032	0.40862	0.25370
<b>I5</b>	7.2995	16.3957	0.18623	0.20233	0.41238	0.5200	7.6624	12.1890	0.17130	0.66040	0.41073	0.25532
<b>I6</b>	7.2487	16.4606	0.18842	0.28015	0.39636	0.52201	7.6351	12.0556	0.17238	0.04669	0.39381	0.24652
<b>I7</b>	8.4852	17.1268	0.14174	2.66140	0.38319	0.57598	8.9583	13.7569	0.12711	6.28910	0.38575	0.31974
<b>I8</b>	7.3798	16.4119	0.18282	0.51361	0.31475	0.52528	7.6294	12.4671	0.17261	1.71810	0.30695	0.26520
<b>I9</b>	7.0844	16.2914	0.19568	0.00000	0.32786	0.51265	7.3155	12.0426	0.18554	0.00000	0.31714	0.24573
<b>I10</b>	6.0545	16.3938	0.24806	0.18677	0.41082	0.51923	6.4333	12.1391	0.22733	0.41138	0.40269	0.2529
<b>I11</b>	8.8337	16.4030	0.13081	0.20233	0.57900	0.51959	9.1540	12.0426	0.12151	0.00000	0.57782	0.24573
<b>I12</b>	7.8107	16.3007	0.16555	0.01556	0.49559	0.51323	8.1968	12.0426	0.15147	0.00000	0.48845	0.24573
<b>I13</b>	7.7772	16.2914	0.16683	0.00000	0.49048	0.51265	8.1688	12.0426	0.15245	0.00000	0.48043	0.24573

Çizelge 23. Yöntem 3 'e göre 0.75 ölçekleme katsayısı kullanılarak her iki damga için elde edilen sonuçlar

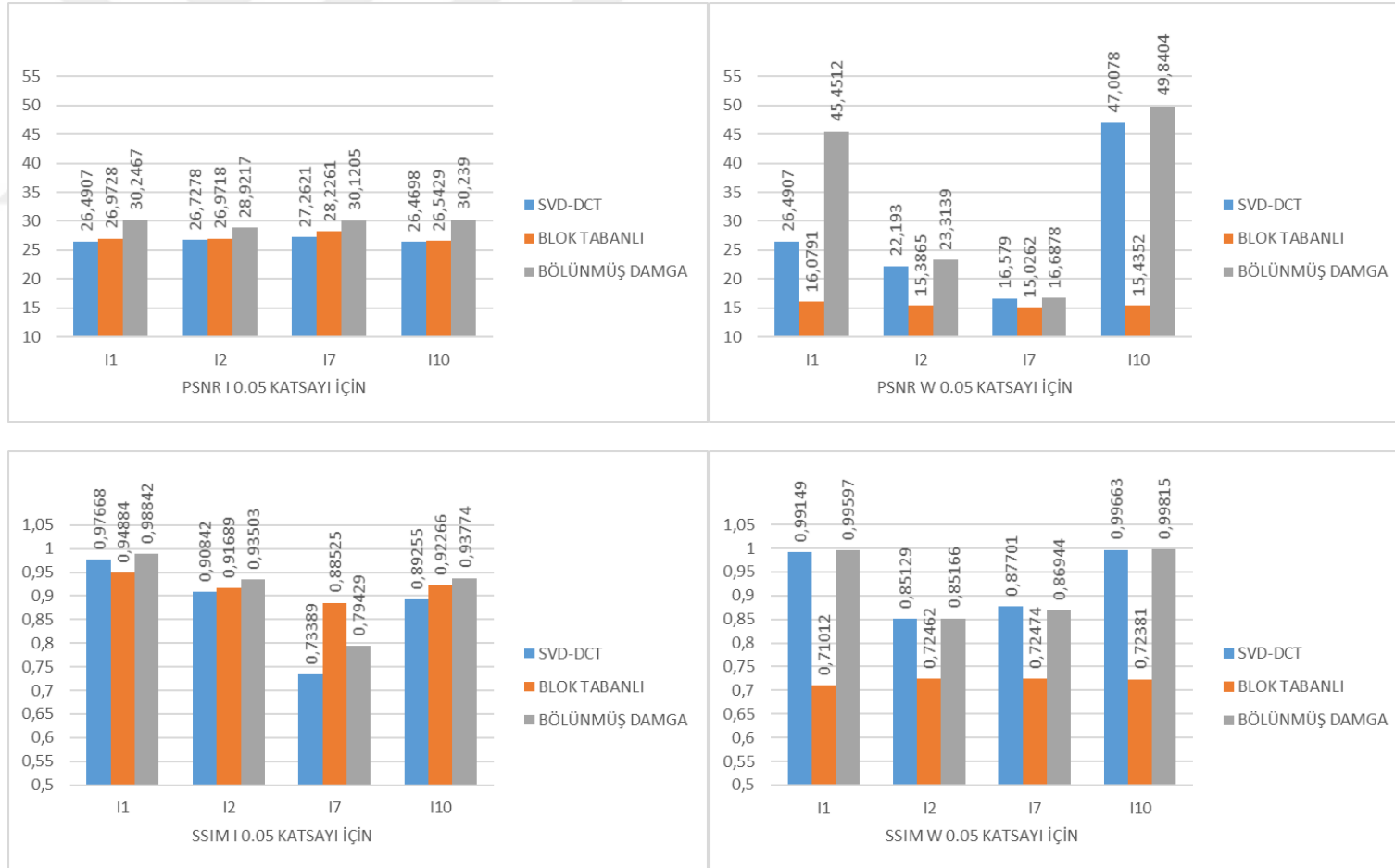
Damga	W1						W2					
	Resim	PSNR_I	PSNR_W	MSE_I	MSE_W	SSIM_I	SSIM_W	PSNR_I	PSNR_W	MSE_I	MSE_W	SSIM_I
I1	13.0132	5.5202	0.04996	0.28053	0.64186	0.63976	13.1625	6.0728	0.04827	0.24701	0.70816	0.61844
I2	8.1358	9.2614	0.15361	0.11854	0.31873	0.47830	8.4800	9.3612	0.14177	0.11585	0.33409	0.42266
I3	8.1357	9.2612	0.15361	0.11854	0.31874	0.47819	8.4839	9.3610	0.14178	0.11585	0.33409	0.42250
I4	8.3688	8.9555	0.14559	0.12719	0.32821	0.47982	8.7320	9.0821	0.13391	0.12354	0.34511	0.41598
I5	8.0403	9.5487	0.15702	0.11095	0.32082	0.48074	8.4280	9.5751	0.14362	0.11028	0.33758	0.42842
I6	7.7399	10.7803	0.16827	0.08355	0.29790	0.51938	8.1380	10.6904	0.15353	0.08530	0.31206	0.46246
I7	8.3286	9.8637	0.14694	0.10319	0.22380	0.47392	8.8168	9.7722	0.13132	0.10539	0.23108	0.44930
I8	8.5631	9.3222	0.13922	0.11689	0.33176	0.78107	8.7653	9.9769	0.13288	0.10053	0.34115	0.77434
I9	7.3615	20.995	0.18359	0.00795	0.36596	0.90526	7.7514	20.3631	0.16783	0.00919	0.37949	0.88603
I10	9.2735	7.6600	0.11821	0.17140	0.56259	0.52087	9.4945	8.0055	0.11234	0.15829	0.60440	0.47557
I11	8.1972	9.5890	0.15145	0.10993	0.38099	0.65117	8.5015	9.8412	0.14121	0.10372	0.39818	0.60176
I12	7.7196	10.7727	0.16906	0.08370	0.35637	0.67971	8.0514	10.9176	0.15663	0.08095	0.37381	0.62614
I13	13.0132	5.5202	0.04996	0.28053	0.64186	0.63976	13.1625	6.0728	0.04827	0.24701	0.70816	0.61844



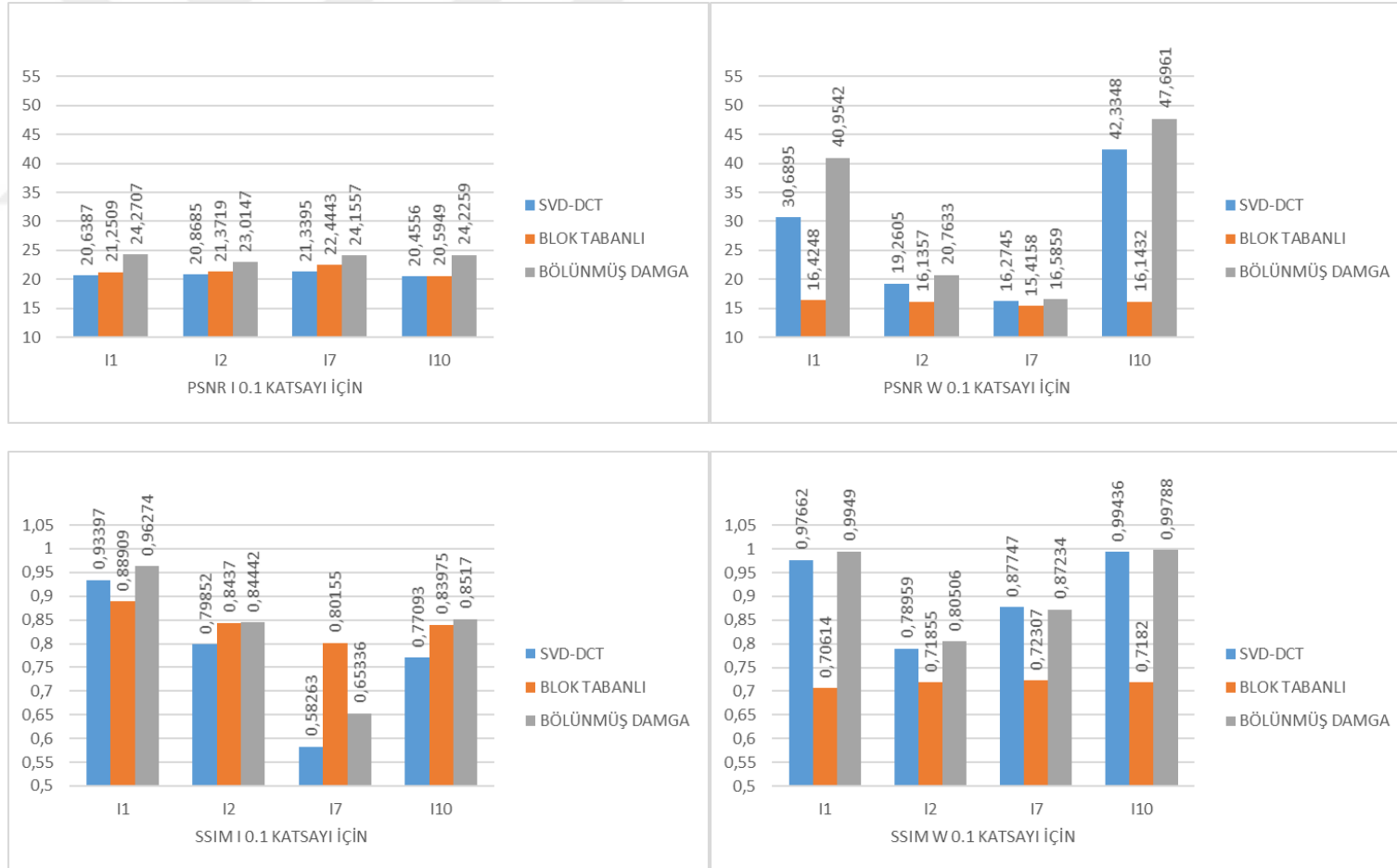
Şekil 14. I1, I2, I7, I10 resimleri için 0.01 ölçekleme katsayısına göre PSNR\_I, PSNR\_W, SSIM\_I ve SSIM\_W değişimi grafiği



**Şekil 15.** I1, I2, I7, I10 resimleri için 0.03 ölçekleme katsayısına göre PSNR\_I, PSNR\_W, SSIM\_I ve SSIM\_W değişimi grafiği



**Şekil 16.** I1, I2, I7, I10 resimleri için 0.05 ölçekleme katsayısına göre PSNR\_I, PSNR\_W, SSIM\_I ve SSIM\_W değişimi grafiği



Şekil 17. I1, I2, I7, I10 resimleri için 0.1 ölçekleme katsayısına göre PSNR\_I, PSNR\_W, SSIM\_I ve SSIM\_W değişimi grafiği

### 5.1.2. Karşılaştırılan Yöntemlerin Sonuç Analizi

Çizelge ve şekillerden de anlaşıldığı üzere ölçekleme katsayısı incelendiğinde 0.1 değeri sonrasında hem imge hem de damga için PSNR ve SSIM değerlerinde gözle görülür bir düşüş söz konusudur. Bu sebeple [0-0.1] aralığında PSNR ve SSIM değerleri incelendiğinde en optimal değer olarak 0.01 tercih edilmiştir.

Çizelge 3, Çizelge 4 ve Çizelge 5'teki veriler ışığında yöntemlerin performanslarını karşılaştırarak analiz edelim. Bu karşılaştırmada her bir yöntem için belirtilen PSNR, SSIM, NC ve MSE metrikleri dikkate alınmıştır. Çizelgeler 0.01 ölçekleme katsayısı kullanılarak her iki damgayla (W1 ve W2) damgalanan ve taşıyıcı görüntü olarak kullanılan 13 adet tıbbi görüntünün verilerini içerir.

Çizelge 3 incelenerek Yöntem 1 için genel performans değerlendirmesi yapılırsa, yüksek PSNR\_I ve PSNR\_W değerleri yüksek görüntü kalitesi ve daha iyi damga kalitesine işaret eder. SSIM\_I değerlerinin çok yüksek olması Yöntem 1'de orijinal görüntüyle benzerliğin çok olduğunu gösterir. SSIM\_W değerlerinin bazı durumlarda daha düşük kalması, damga kalitesinin tutarlı olmadığını gösterir.

Çizelge 4 incelenerek Yöntem 2 için genel performans değerlendirmesi yapılırsa, PSNR\_I değerlerinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Buna karşılık PSNR\_W değerleri oldukça düşük olup, bu da damga kalitesinin düşük olduğunu göstermektedir. SSIM\_W değerleri oldukça düşük ve geniş bir aralıktadır. Bu da tutarsızlık göstermektedir.

Çizelge 5 incelenerek Yöntem 3 için genel performans değerlendirmesi yapılırsa, PSNR\_I değerlerinin çok yüksek olduğu görülmektedir. Bu da orijinal görüntüyle benzerliğin korunduğunu gösterir. PSNR\_W değerleri de oldukça yüksek olup damga kalitesinin de iyi durumda olduğu görülmektedir. SSIM\_I ve SSIM\_W değerlerinin çok yüksek olduğu görülmekte ve bu da hem görüntü kalitesinin hem de damga kalitesinin yüksek olduğunu göstermektedir. MSE\_I ve MSE\_W değerlerinin düşük olması da bozulmanın düşük olduğunu göstermektedir.

PSNR\_I ve SSIM\_I değerlerine baktığımızda Yöntem 3 'ün en yüksek değerlere sahip olduğu aşikardır. Yöntem 2'nin PSNR\_I değerleri iyi olsa da, SSIM\_I değerleri diğer iki yönteme göre daha düşük kalmıştır.

PSNR\_W ve SSIM\_W değerlerine baktığımızda da Yöntem 3 'ün en yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir.

Bölünmüş Damga yöntemi, damgalama uygulamaları için en iyi sonuçları sunarak, hem yüksek kaliteli damgalanmış görüntüler hem de kaliteli damga elde

edilmesini sağlamaktadır. Bu nedenle, önerilen yöntem olarak diğer iki yönteme göre belirgin bir avantaj sunmaktadır.

Şekil 14, Şekil 15, Şekil 16 ve Şekil 17 incelendiğinde de farklı resimlere göre yapılan çalışmalarda katsayının değişimi metotların başarı sırasına etki etmemekle birlikte seçilen resim de başarı sırasını değiştirmemektedir. Katsayı 0.01' e yaklaştıkça damgalanan resim iyileşirken 0.1' e yaklaştıkça çıkan damga resmin içindeki dağılıma göre farklılık gösterebilmektedir. Ancak bu farklılık başta da belirtildiği gibi yöntemler arasındaki başarı yönünü değiştirmemektedir. Yöntem 3, hem görüntü kalitesi hem de damga kalitesi açısından en iyi sonuçları verirken, Yöntem 1 ikinci en iyi performansı göstermektedir. Yöntem 2 ise damga kalitesi açısından en düşük performansı sergilemektedir.

Bu analiz ışığında Yöntem 3, katsayıların çeşitliliği karşısında en stabil ve güvenilir sonuçları sağlayan yöntemdir. Bu nedenle, tıbbi görüntülerde damgalama işlemlerinde en iyi sonuçlar için Yöntem 3'ü tercih etmek yerinde olacaktır.

### 5.1.3. Önerilen Yöntemin Farklı Saldırıları Altında İncelenmesi

Son olarak Yöntem 3'ün dayanıklılığını test etmek ve saldırı sonuçlarının etkisini ölçmek amacıyla damgalanmış görüntüye farklı saldırılar yapılarak sonuçlar analiz edilmiştir.

**Çizelge 24.** Yöntem 3 için 0.01 ölçekleme katsayısına göre damgalı resme 180 derece döndürme saldırısı sonucu çıkan damganın benzerlik metrikleri

Damga	W1				W2			
	PSNR_W	MSE_W	SSIM_W	NC_W	PSNR_W	MSE_W	SSIM_W	NC_W
<b>I1</b>	17.3172	57.3135	0.77716	0.62245	12.4417	65.3929	0.48927	0.48843
<b>I2</b>	17.3129	43.5448	0.86918	0.85838	14.5393	38.1272	0.68755	0.81711
<b>I3</b>	17.3140	43.5448	0.86919	0.85842	14.5404	38.1288	0.68757	0.81716
<b>I4</b>	17.3617	43.8175	0.86941	0.85767	14.6188	38.7357	0.68538	0.81755
<b>I5</b>	17.3201	43.7174	0.86909	0.85677	14.604	38.4045	0.68599	0.81846
<b>I6</b>	16.9605	42.9008	0.86341	0.85791	14.3803	36.8206	0.68309	0.82088
<b>I7</b>	16.2981	41.3572	0.85102	0.85639	13.9995	34.4753	0.68416	0.82228
<b>I8</b>	18.2428	47.4770	0.86604	0.83458	15.0952	47.6671	0.64995	0.79002
<b>I9</b>	18.0392	48.0138	0.86113	0.83139	15.0957	49.2633	0.64562	0.78946
<b>I10</b>	17.0216	45.7171	0.85086	0.83903	14.6341	44.5435	0.66102	0.80081
<b>I11</b>	18.5663	51.0429	0.86351	0.79581	14.3004	53.0634	0.62595	0.72229
<b>I12</b>	17.8249	45.2021	0.87386	0.85314	14.8752	41.6078	0.67897	0.81007
<b>I13</b>	17.6468	44.5811	0.87211	0.85539	14.7783	40.3652	0.68037	0.81290

**Çizelge 25.** Yöntem 3 için 0.01 ölçekleme katsayısına göre damgalı resme tuz-biber saldırısı sonucu çıkan damganın benzerlik metrikleri

Damga	W1				W2			
	PSNR_W	MSE_W	SSIM_W	NC_W	PSNR_W	MSE_W	SSIM_W	NC_W
I1	17.5244	56.1691	0.80298	0.66065	12.3998	65.2113	0.51781	0.48144
I2	16.9624	43.5284	0.84788	0.84275	14.3028	37.8519	0.68239	0.80699
I3	16.9654	43.5145	0.84812	0.84311	14.3014	37.8316	0.68227	0.68227
I4	17.0735	43.8223	0.85267	0.84438	14.4138	38.2040	0.68171	0.81082
I5	16.9877	43.7506	0.84822	0.84085	14.4042	37.8684	0.68038	0.81212
I6	16.5892	43.0043	0.83271	0.83906	14.1667	36.4975	0.67864	0.81243
I7	16.1302	41.5101	0.83298	0.84635	13.9314	34.4857	0.68218	0.81891
I8	17.7308	46.1940	0.86073	0.83211	14.7502	42.8793	0.66740	0.79649
I9	17.5432	46.9761	0.85460	0.82536	14.6957	45.0441	0.65743	0.79042
I10	16.4253	45.3936	0.82103	0.81284	14.1371	42.8018	0.65058	0.78573
I11	18.2019	49.8793	0.86251	0.7948	13.8475	51.8963	0.64166	0.69316
I12	17.2214	44.8245	0.84680	0.83161	14.4663	39.8382	0.67513	0.80042
I13	17.0480	44.2220	0.84284	0.83320	14.3423	38.9029	0.67403	0.80028

**Çizelge 26.** Yöntem 3 için 0.01 ölçekleme katsayısına göre damgalı resme jpeg sıkıştırma saldırısı sonucu çıkan damganın benzerlik metrikleri

Damga	W1				W2			
	PSNR_W	MSE_W	SSIM_W	NC_W	PSNR_W	MSE_W	SSIM_W	NC_W
I1	17.2538	57.5498	0.77440	0.61230	12.2697	66.1698	0.48668	0.45652
I2	17.5712	44.4449	0.87123	0.85540	14.6339	40.1389	0.68403	0.80877
I3	17.5719	44.4479	0.87127	0.85541	14.6344	40.1389	0.68406	0.80876
I4	17.5840	44.6190	0.87104	0.85462	14.7506	40.5894	0.68252	0.81220
I5	17.5741	44.6522	0.87079	0.85297	14.7784	40.3805	0.68273	0.81439
I6	17.2563	43.8865	0.86632	0.85570	14.5720	38.8561	0.68099	0.81669
I7	16.5108	42.0552	0.85373	0.85587	14.1584	35.9089	0.67995	0.82021
I8	18.4128	48.5365	0.86360	0.82526	15.0554	48.8567	0.64269	0.78311
I9	18.2191	48.9946	0.85931	0.82302	15.0786	50.3625	0.63944	0.78388
I10	17.3433	46.9726	0.85318	0.83238	14.7742	46.5009	0.65747	0.79590
I11	18.5368	51.6422	0.85897	0.78559	13.8553	54.8381	0.61455	0.68229
I12	18.0865	46.2439	0.87506	0.84775	14.9713	43.5435	0.67508	0.80378
I13	17.9587	45.7682	0.87383	0.84990	14.9191	42.5324	0.67666	0.80691

**Çizelge 27.** Yöntem 3 için 0.01 ölçekleme katsayısına göre damgalı resme keskinleştirme saldırısı sonucu çıkan damganın benzerlik metrikleri

Damga	W1				W2			
	PSNR_W	MSE_W	SSIM_W	NC_W	PSNR_W	MSE_W	SSIM_W	NC_W
<b>I1</b>	12.5742	33.4252	0.62071	0.72658	11.7104	25.6043	0.56721	0.77841
<b>I2</b>	8.8828	26.0766	0.22930	0.50623	8.7922	24.4354	0.29127	0.59298
<b>I3</b>	8.8890	26.0951	0.22950	0.50656	8.7937	24.4472	0.29138	0.59299
<b>I4</b>	8.6422	26.3854	0.23266	0.49020	8.6240	24.6941	0.28006	0.57708
<b>I5</b>	8.8196	26.2698	0.23218	0.50368	8.6778	24.7445	0.28984	0.57834
<b>I6</b>	8.7474	26.6024	0.22651	0.49598	8.5951	25.0734	0.28029	0.57165
<b>I7</b>	12.1278	34.3782	0.44264	0.67513	11.7009	28.4907	0.44935	0.75018
<b>I8</b>	16.0786	36.0522	0.66305	0.82237	14.6625	30.5218	0.70419	0.84984
<b>I9</b>	13.4426	26.1606	0.38799	0.71257	13.0310	26.0149	0.43305	0.79810
<b>I10</b>	9.2075	26.3368	0.30806	0.55614	9.1785	23.2604	0.35956	0.64966
<b>I11</b>	10.0125	26.4388	0.34492	0.58399	9.6270	23.7339	0.38972	0.65130
<b>I12</b>	9.6037	25.5617	0.29821	0.56413	9.4397	21.8311	0.37639	0.65831
<b>I13</b>	9.9342	25.8557	0.33293	0.58391	9.6719	21.7746	0.40126	0.67465

Çizelge 24 ve Çizelge 27 arasında; Yöntem 3 için 0.01 ölçekleme katsayısına göre damgalı resme uygulanan çeşitli saldırılar (döndürme, tuz-biber, jpeg sıkıştırma ve keskinleştirme) sonucu çıkan damganın benzerlik metrikleri tablo şeklinde verilmiştir. Bu tablolar ile Çizelge 5 kıyaslandığında; gürültü ekleme işleminin performansı olumsuz yönde etkilediğini göstermektedir. Gürültü ekleme sonrası PSNR değerlerinde belirgin bir azalma gözlemlenmiştir. Bu durum çıkan damga için kalite kaybını işaret etmektedir. MSE değerleri önemli ölçüde artmıştır, bu da görüntüdeki hataların arttığını göstermektedir. SSIM değerleri düşmüştür, bu da görüntülerin yapısal bütünlüklerinin bozulduğunu göstermektedir. NC değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir, bu da çıkan damganın doğruluğunun ve tanınabilirliğinin azaldığını göstermektedir. Sonuç olarak, damgalanmış resme gürültü ekleme sonrası görüntülerin kalite ve yapısal bütünlüğünde belirgin kayıplar gözlemlenmiştir. Ölçekleme katsayısının yükseltilmesiyle saldırılar sonucu çıkan damgada daha iyi sonuçlar elde edilebilmesine rağmen, bu çalışmada önceliğimiz tıbbi görüntülerdeki bozulmanın minimum düzeyde kalmasıdır. Bu nedenle, ölçekleme katsayısı taşıyıcı görüntünün bozulmaması önceliğine dayanarak seçilmiştir.

## 5.2. Öneriler

Hibrit DCT-SVD tabanlı teknik ile geliştirilen uygulamalardan 2. Yöntemde bloklara ayrılmış taşıyıcı imgenin DCT katsayılarının tekil değerlerine damga eklenebilmektedir. Bazı matematiksel ön işlemler yapılarak blok seçme algoritmaları da geliştirilerek daha iyi sonuçlar elde edilebilir.

Ayrıca yapay zekâ algoritmaları ile blok sayısı da optimize edilebilir. Dolayısıyla yapay zeka algoritmalarından optimizasyon teknikleri ile damganın nasıl seçilmesi gerektiği ve imgenin neresine damga yerleştirilirse daha iyi sonuçlar elde edileceği araştırılarak uygulamalar gerçekleştirilebilir.

İmgeye frekans boyutlu algoritmalarından SVD tabanlı DWT yöntemi (DWT-SVD) ya da SVD tabanlı DFT yöntemi (DFT-SVD) gibi değişik yeni algoritmalar geliştirilerek daha dayanıklı damgalama yöntemleri geliştirilebilir.

## KAYNAKLAR

Arnold, M., M. Schmucker ve S. Wolthusen, 2003, Digital Watermarking and Content Protection: Techniques and Applications, Artech.

Aslantaş, V. ve A. Oz, Diferansiyel Gelişim Algoritması İle Tekil Değer Ayrışımına Dayalı Resim Damgalama, *ISC Turkey*, 3-5.

Aslantaş, V., A. Doğan ve R. Kurban, 2006, Parçacık Sürü Optimizasyonu ile DWT-SVD Tabanlı Resim Damgalama, *Uluslar arası Katılımlı Bilgi Güvenliği ve Kriptoloji Konferansı, Ankara*, 13-14.

Aslantaş, V., Ş. Özer ve S. Öztürk, 2006, Tekil Değer Çıkarma Tabanlı Resim Damgalama Tekniklerinin Karşılaştırılması, *Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu ve Fuarı ELECO*, 312-317.

Balcı, D., R. Karakış ve İ. Güler, 2020, Tıbbi DICOM Veri Güvenliğinde Hibrit Yöntemlerin Kullanılması, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(2), 1295-1306.

Boztoprak, H., 2016, KENAR GEÇİŞLERİ KULLANILARAK GÖRÜNTÜDEKİ BULANIKLIĞIN GİDERİLMESİ, *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 8(2), 28-36.

Chen, P.-C., 1999, On the study of watermarking application in WWW-modeling, performance analysis, and applications of digital image watermarking systems, Master Thesis, *National Tsing Hua University*.

Chouse, C. ve S. Albayrak, Dairesel Bakışlı Renkli İmge Damgalama.

Cox, I., M. Miller, J. Bloom, J. Fridrich ve T. Kalker, 2007, Digital watermarking and steganography, Morgan kaufmann.

Cox, I. J., J. Kilian, F. T. Leighton ve T. Shamoan, 1997, Secure spread spectrum watermarking for multimedia, *IEEE transactions on image processing*, 6(12), 1673-1687.

Dogan, S., T. Tuncer, E. Avci ve A. Gulten, 2011, A robust color image watermarking with Singular Value Decomposition method, *Advances in Engineering Software*, 42(6), 336-346.

ELBAŞI, E., İMGELERDE DWT İLE DAMGALAMA METODU.

ERÇELEBİ, E., Y. TOKUR ve M. B. BAYIK, GEOMETRİK ŞEKİLLER İLE FREKANS BÖLGESİNDE SAYISAL İMGE DAMGALAMA.

Fındık, O., 2010, Yapay Zeka Teknikleri Kullanarak Sabit Görüntüler İçin Sayısal Damgalama, Doktora, *Selçuk Üniversitesi*.

Gang, W. ve R. Ni-Ni, 2006, A fragile watermarking scheme for medical image, *2005 IEEE Engineering in Medicine and Biology 27th Annual Conference*, 3406-3409.

Gomez-Coronel, S. L., E. Moya-Albor, J. Brieva ve A. Romero-Arellano, 2023, A Robust and Secure Watermarking Approach Based on Hermite Transform and SVD-DCT, *Applied Sciences*, 13(14), 8430.

Holat, R. ve S. Kulaç, YÜZ BULMA VE TANIMA SİSTEMLERİ KULLANARAK KİMLİK TANIMA ID IDENTIFICATION BY USING FACE DETECTION AND RECOGNITION SYSTEMS.

Hore, A. ve D. Ziou, 2010, Image quality metrics: PSNR vs. SSIM, *2010 20th international conference on pattern recognition*, 2366-2369.

Hsu, C.-T. ve J.-L. Wu, 1999, Hidden digital watermarks in images, *IEEE Transactions on image processing*, 8(1), 58-68.

Jiao, S. ve R. Goutte, 2010, A secure transfer of identification information in medical images by steganocryptography, *International Journal of Communications, Network and System Sciences*, 3(10), 801.

Johnson, N. F., Z. Duric, S. Jajodia, N. F. Johnson, Z. Duric ve S. Jajodia, 2001, Exploring Steganography: Seeing the Unseen, *Information Hiding: Steganography and Watermarking-Attacks and Countermeasures*, 15-45.

Karabat, Ç., 2010, Steganografi ve Sayısal Damgalama:Geçmişten Günümüze Bilgi Gizleme Teknikleri, *Bilim ve Teknik*.

KARACA, N., 2024, DİKKAT TABANLI EVRİŞİMLİ SİNİR AĞLARI İLE GÖRÜNTÜLERDE GÜRÜLTÜ GİDERME, Yüksek Lisans, *Harran Üniversitesi*.

Karakış, R. ve K. Gurkahraman, 2021, TIBBİ GÖRÜNTÜLERİN GÜVENLİĞİ İÇİN İLGİ OLMAYAN BÖLGELERDE KENAR TABANLI DAMGALAMA, *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(14), 154-168.

Karakış, R., İ. Güler, I. Çapraz ve E. Bilir, 2015, A novel fuzzy logic-based image steganography method to ensure medical data security, *Computers in biology and medicine*, 67(172-183).

Karakoyun, M., 2023, THE COMPARISON OF THE EFFECTS OF THRESHOLDING METHODS ON SEGMENTATION USING THE MOTH FLAME OPTIMIZATION ALGORITHM, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(2), 517-531.

Kashyap, N. ve G. Sinha, 2012, Image watermarking using 3-level discrete wavelet transform (DWT), *International Journal of Modern Education and Computer Science*, 4(3), 50.

Katzenbeisser, S. ve F. Petitcolas, 2016, Information hiding, Artech house.

KİZİR, S., H. M. ERTUNÇ ve H. OCAK, İKİLİ VE RENKLİ LOGO İLE SAYISAL DAMGALAMA DIGITAL WATERMARKING WITH BINARY AND COLORED WATERMARK.

Kurban, R. ve H. Bozpolat, 2022, AYRIK KOSİNÜS DÖNÜŞÜMÜ DC BİLEŞENLERİ VE ÇOKLU-ADAPTİF ÖLÇEKLEME FAKTÖRLERİ KULLANILARAK DAYANIKLI GÖRÜNTÜ DAMGALAMA, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 30(2), 190-200.

Mamuti, M., 2019, Tibbi Görüntü Güvenliği İçin Yeni bir Sayısal Damgalama Yöntemi, Yüksek Lisans, *Sakarya Üniversitesi*.

Mohammed, A. A., B. A. Jebur ve K. M. Younus, 2021, Hybrid DCT-SVD based digital watermarking scheme with chaotic encryption for medical images, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 012025.

Mohanty, S. P., 1999, Digital watermarking: A tutorial review, Indian Institute of Science, Bangalore.

Muharemagic, E. ve B. Furht, 2006, Survey of watermarking techniques and applications, Multimedia watermarking techniques and applications, Auerbach Publications, 91-130.

Oğuz, C., 2006, Görüntü işaretleri için yeni bir sayısal damgalama yöntemi, *Yüksek Lisans, İstanbul Üniversitesi*.

ORAL, M. ve M. FURAT, VERİ SAKLAMA YÖNTEMLERİ: SAYISAL GÖRÜNTÜLERİN DAMGALANMASI, AMAÇLARI VE UYGULAMA ALANLARI.

Petitcolas, F. A., R. J. Anderson ve M. G. Kuhn, 1998, Attacks on copyright marking systems, *International workshop on information hiding*, 218-238.

Piva, A., M. Barni, F. Bartolini ve V. Cappellini, 1997, DCT-based watermark recovering without resorting to the uncorrupted original image, *Proceedings of international conference on image processing*, 520-523.

Rathi, S. C. ve V. S. Inamdar, 2012, Medical images authentication through watermarking preserving ROI, *Health Informatics-An International Journal (HIJ)*, 1(1).

Renkler, A. ve S. Öztürk, Görüntü Kimlik Doğrulaması İçin Yeni Bir Ayrık Kosinüs Dönüşümü Tabanlı Kendinden Gömülü Kırılgan Damgalama Yöntemi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 38(1), 12-20.

Sunum, A., 2024, *BMÜ-354 Sayısal Görüntü İşleme*, <https://akademiksunum.com/index.jsp?modul=document&folder=e83815c1d02bdcd1b07d45573834de396c41b95c>, [Ziyaret Tarihi: 2024].

Şenol, A., 2018, ESNEK RESİM DAMGALAMA: BLOK TABANLI DAMGALAMA ANALİZİ, VEKTÖR DAMGASI KULLANIMI VE DOĞRULAMA DAMGALAMASININ GELİŞTİRİLMESİ.

Takaoğlu, F., 2016, DWT ve DCT Steganografide Performans Analizi [Performance Analysis in DWT and DCT Steganography], *Yüksek Lisans, İstanbul Aydın Üniversitesi*.

Tipton, H. F. ve M. Krause, 2007, Information security management handbook, CRC press.

Tuncer, T., 2017, Tekil değer ayrışımı tabanlı yeni bir imge kimliklendirme yöntemi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(3).

Uçak, M., Dalgacık Dönüşümü ile Damgalama. Kocaeli Üniversitesi Elektronik Ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü İmge İşleme Laboratuvarı.

ÜSTÜBİOĞLU, A. ve G. ULUTAŞ, TIBBİ GÖRÜNTÜLERDE BÜTÜNLÜK KONTROLÜ VE DAYANIKLILIK SAĞLAYAN YENİ BİR DAMGALAMA ALGORİTMASI A NEW ROBUST WATERMARKING ALGORITHM FOR INTEGRITY OF THE MEDICAL IMAGES.

Wang, Z., A. C. Bovik ve L. Lu, 2002, Why is image quality assessment so difficult?, *2002 IEEE International conference on acoustics, speech, and signal processing*, IV-3313-IV-3316.

Wolfgang, R. B. ve E. J. Delp, 1996, A watermark for digital images, *Proceedings of 3rd IEEE International Conference on Image Processing*, 219-222.

YEŞİLYURT, M., A. T. Özcerit, Y. YALMAN ve İ. ERTURK, SIKIŞTIRILMIŞ İMGELER İÇİN DCT TABANLI GÖRÜNMEZ DAMGALAMA UYGULAMASI A DCT BASED INVISIBLE WATERMARKING APPLICATION FOR COMPRESSED IMAGES.

Yeşilyurt, M., A. T. Özcerit, Y. Yalman ve İ. Ertürk, 2012, Sayısal İmgeler için Ayrık Kosinüs Dönüşümü Esaslı Veri Gizlemenin Ataklara Dayanıklılığı, *Akademik Bilişim Konferansı*, Uşak, 1-3.

Yıldız, S., F. Üstünsoy ve H. H. Sayan, 2023, Digital image watermarking with hybrid structure of DWT, DCT, SVD techniques and the optimization with BFO algorithm, *Politeknik Dergisi*, 1-1.