

Kesik Tekil Değer Ayrışımı ve Ayrık Dalgacık Dönüşümü Kullanılarak Boyut İndirgeme Tabanlı Dayanıklı Dijital Görüntü Damgalama

Ahmet Haşim YURTTAKAL^{1*}, Fahrettin HORASAN²

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Afyon.

²Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale.

*Sorumlu Yazar: ahyurttakal@aku.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-5170-6466>

fhorasan@kku.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-4554-9083>

Geliş Tarihi: 06.07.2022

Kabul Tarihi: 23.08.2022

Öz

Anahtar kelimeler

Damgalama; Kesik-TDA; Ayrık Dalgacık Dönüşümü; Boyut İndirgeme; Veri Gizleme

Telif hakkı koruma, kimlik doğrulama, parmak izi, içerik etiketleme gibi alanlarda kullanılan damgalama tekniklerinde genel olarak sinyal işleme dönüşümleri ve matematiksel teknikler kullanılır. Bu çalışmada çoğu damgalama tekniğinde tercih edilen Tekil Değer Ayrışımı (TDA) yerine, boyut indirgeme tabanlı Kesik-TDA tekniği kullanılmıştır. Önerilen bu teknik Ayrık Dalgacık Dönüşümü (ADD) ile birlikte kullanılmıştır. Temel TDA-ADD tabanlı yöntemle göre önerilen yöntemin histogram eşitleme dışında tüm olası saldırılara karşı algılanamazlık ve dayanıklılık performanslarında ilerleme kaydettiği gözlemlenmiştir. Önerilen şemanın farklı matris ayrışımı ve sinyal işleme dönüşümlerinin kullanıldığı alternatif damgalama şemalarına yön vereceği tahmin edilmektedir.

Dimension Reduction Based Robust Digital Image Watermarking Using Truncated Singular Value Decomposition and Discrete Wavelet Transform

Abstract

Keywords

Watermarking; Truncated-SVD; Discrete Wavelet Transform; Dimension Reduction; Data Hiding

Signal processing transformations and mathematical techniques are generally used in watermarking techniques used in areas such as copyright protection, authentication, fingerprinting, content tagging. In this study, instead of the Singular Value Decomposition (SVD), which is preferred in most watermarking schemes, the dimension reduction-based truncated-SVD technique is used. This technique is combined with the Discrete Wavelet Transform. Compared to the baseline SVD-DWT-based technique, it has been observed that the proposed scheme has made progress in imperceptibility and resistance performances against all possible attacks, except histogram equalization. It is predicted that the proposed scheme will lead to alternative stamping schemes using different matrix decomposition and signal transformations.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Dijital platformlarda yayınlanan içeriklerin telif haklarının korunması değiştirme, düzenleme ve filtreleme uygulamalarının artmasıyla zorlaşmaktadır. Dijital içerik üreticilerin eserlerine ait telif haklarını korumak amacıyla önlem almaları önemli bir konu olarak dikkat çekmektedir (Litman 2001, Postigo 2012). Dijital içeriklere telif hakkını korumak için damgalama adı verilen işlem uygulanır. Dijital içeriklere eser sahibine ait telif bilgisinin damga olarak gömülmesiyle bu işlem

gerçekleştirilmektedir (Kadian vd. 2021). Ancak bu damganın dijital içeriklerin maruz kalabileceği her türlü değişiklik, düzenleme ve filtreleme gibi saldırılara dayanıklı olması gerekmektedir. Araştırmacılar bu amaçla çeşitli damgalama şemaları önermektedirler (Evsutin vd. 2020, Evsutin ve Dzhnashia 2022).

Damgalama veri gizleme konusunun bir alt sınıfıdır (Rajendran vd. 2020). Veri gizleme dijital ortamdaki sinyallere gizli mesajın gömülmesini amaçlamaktadır (Xiang vd. 2016, Singh vd. 2020,

Kumar ve Singh 2021). Veri gizleme genel olarak bit uzayında ve frekans uzayında veri gizleme olarak iki farklı şekilde gerçekleşmektedir. Veri gizleme gizlenen verinin çeşitli saldırılara dayanıklılık durumu dikkate alındığında kırılğan ve kırılğan olmayan olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Kırılğan veri gizlemede veriye uygulanacak sinyal işleme saldırılarına karşı gizlenen veri dayanıksız ve geri çıkarılamazdır. Kırılğan olmayan veri gizlemede ise gizlenen verinin sinyal işleme saldırılarına karşı dayanıklı ve geri çıkarılabilir olması gerekir. Bu bilgilere dayanarak bu durumda dijital içeriklerin telif hakkının korunması maksadı için kırılğan olmayan bir veri gizleme işlemi gerekmektedir (Wang vd. 2009, Vaidya ve Pvssr 2017). Damgalama genellikle frekans uzayında gerçekleşen kırılğan olmayan yani dayanıklı bir veri gizleme tekniğidir. Uzamsal yani piksel tabanlı damgalama teknikleri saldırılara karşı sağlam olmadığı ve kapasitesinin kararsız olması nedeniyle çok tercih edilmemektedirler (Ernawan ve Kabir 2019).

Damgalama çalışmalarında damganın sağlamlığından ziyade, saydamlığı, güvenilirliği ve damgalama sürecinin maliyeti önem arz eder (Wang vd. 2009, Vaidya ve Pvssr 2017). Araştırmacılar bu kriterleri sağlayan en iyi modelleri geliştirmek için yeni şemalar önermeye devam etmektedirler. Damgalama çalışmalarında bu kriterleri sağlamaya imkân veren frekans uzayında gerçekleştirilen teknikler tercih edilmektedir. Frekans uzayında gerçekleştirilen damgalamalarda, çeşitli sinyal işleme dönüşümlerinin ve matematiksel tekniklerin sağladığı avantajlardan faydalanılmaktadır (Liu vd. 2019).

Damgalanmış bir sinyale uygulanan saldırılar sonrasında geri çıkarılan damgada kayıpların oluşması muhtemeldir (Vaidya ve Pvssr 2017, Liu vd. 2019, Kumar ve Singh 2021). Bunun yanı sıra matris ayrışımı sonrasında boyut indirgeme yaparak gürültülerin etkisi azaltılabilir. Boyut indirgeme sinyal işleme çalışmalarında gürültüleri azaltmada ve sadece anlamlı bilgileri işleme maksadıyla tercih edilmektedir (Fierro ve Hansen 1997, Zhou vd. 2012, Li vd. 2019). Bu çalışmada matris ayrışımı sonrasında olası gürültülerin etkisini azaltmak için boyut indirgeme yapılmaktadır. Böylece damgalanmış görüntüye uygulanan gürültü

niteliğindeki saldırıların etkisinin azaltılması amaçlanmıştır. Önerilen şemada, dijital görüntüler üzerinde ayrık dalgacık dönüşümü sonrasında, Kesik-TDA olarak adlandırılan teknik uygulanmıştır. Diğer bir deyişle TDA sonrasında boyut indirgeme işlemi gerçekleştirilmiştir. Damganın geri çıkarımı sırasında yine Kesik-TDA uygulandığı için olası gürültü saldırılarının etkisinin azaltılması amaçlanmıştır.

Çalışmanın bundan sonraki bölümünde ilgili araştırmalar anlatılmaktadır. Bölüm 3'te araştırmada kullanılan tekniklere ve açıklamalara yer verilmiştir. Çalışmanın deneysel analizine dair detaylar ve sonuçlar sırasıyla Bölüm 4 ve Bölüm 5'te yer almaktadır.

2. İlgili Çalışmalar

Araştırmacılar damgalama çalışmalarında matematiksel ve sinyal işleme dönüşümlerini kullanarak daha verimli sonuçlar elde etme eğilimindedirler. Sinyal dönüşümü olarak genellikle Ayrık Dalgacık Dönüşümü (ADD), Ayrık Kosinüs Dönüşümü (AKD), Ayrık Fourier Dönüşümü (AFD) ve Tamsayı Dalgacık Dönüşümü (TDD) gibi tekniklerin kullanıldığı görülmektedir (Ansari 2016, Vaidya ve Pvssr 2017, Liu vd. 2019, Zainol vd. 2020, Horasan 2022). Matematiksel teknikler ise genellikle matris ayrışımıdır. Bunlar Tekil Değer Ayrışımı, Negatif Olmayan Matris Ayrışımı (NOMA), QR ve LU ayrışımı olarak sıralanabilirler. Araştırmalarda en çok kullanılan matris ayrışımının genellikle TDA olduğu görülmektedir (Alshoura vd. 2021).

Araştırmacılar sadece TDA kullanarak önerdikleri damgalama çalışmalarında, görüntünün TDA sonrasında elde edilen tekil değerlerini kullanarak damgalama işlemi gerçekleştirmişlerdir (Liu ve Tan 2002, Byun vd. 2002). Ancak bu yöntem sinyal işleme ve görüntü işleme ataklarına yeterince dayanıklı değildir. Araştırmacılar bu nedenle sinyal işleme dönüşümlerini kullanarak daha dayanıklı şemalar oluşturmaya giriştiler. Görüntü ve sinyal işleme saldırılarına daha dayanıklı olan ADD tekniği ile birlikte TDA kullanan şema önerildi (Ganic ve Eskicioglu 2004). ADD tekniği damganın sağlamlığı ve saydamlığı konusunda sağladığı avantajlar nedeniyle birçok araştırmada tercih edilmektedir.

Çoğu araştırmada ADD sonrası elde edilen LL alt bandında verinin damgalandığı görülmektedir. ADD'nin sağladığı bir diğer avantaj ise sinyali farklı çözünürlüklerle analiz etme fırsatı sunmasıdır (Liu vd. 2019, Luo vd. 2021).

Matris ayrışmaları makine öğrenmesi, sinyal işleme, görüntü işleme ve bilgi çıkarımı gibi birçok alanlarda kullanılan lineer cebir tekniğidir (Hernandez-Lobato 2014, Chai 2020). Makine öğrenmesi alanında boyut indirgeme maksadıyla da kullanıldığı görülmektedir (Liu vd. 2008, Nikulin vd. 2011). Ancak damgalama çalışmalarında boyut indirgeme maksadıyla kullanılmamaktadır. Boyut indirgeme sayesinde sinyaller üzerindeki gürültülerin ve anlamsız özelliklerin azaltılması amaçlanmaktadır. Damgalama araştırmalarında matris ayrışım işlemlerinden sonra boyut azaltma işlemi gerçekleştirilmemektedir. Bu araştırmada ise damgaya uygulanan matris ayrışımı ve boyut indirgeme işlemi sonrasında damgada olabilecek gürültü niteliğindeki etkiler azaltılmaktadır. Böylece damgalanmış görüntüye yapılabilecek olası saldırıların etkisinin azaltılması amaçlanmıştır.

3. Materyal ve Metot

Bu bölümde çalışmada kullanılan teknikler ve açıklamaları yer almaktadır. Ayrıca son kısmında önerilen şema açıklanmıştır.

3.1 Ayrık Dalgacık Dönüşümü (ADD)

Damgalama sonrasında damganın sağlamlığını artırmak maksadıyla en çok tercih edilen sinyal işleme dönüşümlerinden biridir. Özellikle farklı çözünürlüklerde analiz ve işlem yapma becerisi kazandırması da tercih sebebi olmaktadır. ADD sonrasında LL, LH, HL ve HH olmak üzere dört tane matris (alt bant) elde edilir. Damgalama çalışmalarında genel olarak LL bandı kullanılarak bilgi gizlenmektedir (Liu vd. 2019, Luo vd. 2021). Şekil 1'de bir Ayrık dalgacık dönüşümü sonrasında elde edilen alt bantları göstermektedir.

LL	HL
LH	HH

Şekil 1. Ayrık dalgacık dönüşümü sonrasında elde edilen alt bantlar

3.2 Tekil Değer Ayrışımı (TDA)

Bir $A \in \mathbb{R}^{m \times n}$ matrisine TDA uygulanırsa U, Σ, V elde edilir. Burada $X \in \mathbb{R}^{m \times n}$ ve $Y \in \mathbb{R}^{m \times n}$ ortogonal matrislerdir ($UU^T = U^T U = I$ ve $VV^T = V^T V = I$). $m > n$ ve $\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_m$ olmak üzere Σ 'nin elemanları sırasıyla $\sigma_1 > \sigma_2 > \dots > \sigma_m$ şartını sağlar ve Σ köşegen bir matristir. Denklik 1'de A matrisine TDA işleminin uygulanması gösterilmektedir.

$$A = X \Sigma Y^T \quad (1)$$

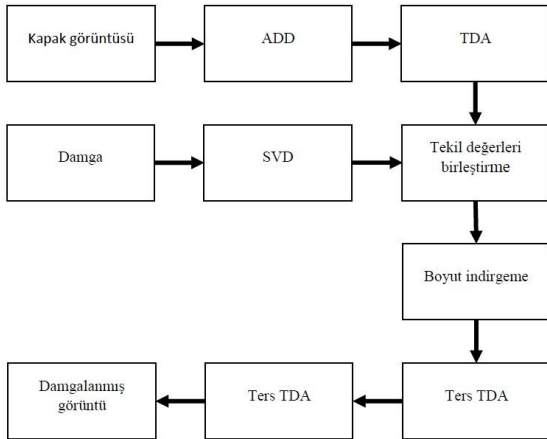
3.3 Boyut İndirgeme

Makine öğrenmesi, bilgiye erişim sistemleri ya da veri sıkıştırma gibi alanlarda kullanılan matris ayrışımından sonra genellikle boyut indirgeme işlemleri yapılır (Fierro ve Hansen 1997, Chen ve Saad 2008, Jessup ve Martin 2001). Aslında tekil değer ayrışımına uğrayan A matrisinin A_k olacak şekilde gerçek boyutuyla (k) temsil edilmesi amaçlanır. Mevcut boyutundan daha düşük boyutta olmasından dolayı hesaplama maliyetini önemli derecede azaltmaktadır (Jessup ve Martin 2001). Boyut indirgemenin veri damgalama sürecine en çok faydası olan husus ise sinyal üzerindeki gürültülerin temizlenebiliyor olmasıdır. Böylece damgalanmış görüntüler üzerine uygulanabilecek gürültü niteliğindeki saldırıların etkisinin azaltılması amaçlanmaktadır. Denklik 2 ile A matrisinin indirgenmiş hali olan A_k matrisi elde edilmektedir. Burada X_k ve Y_k sırasıyla X ve Y 'nin ilk k adet sütununu temsil eder. Σ_k ise Σ 'nin ilk k adet köşegen elemanlarını temsil etmektedir. Bu şemada k değeri en optimum performans sonuçlarının vermek üzere yapılan testler sonrasında belirlenmektedir.

$$A = X_k \Sigma_k Y_k^T \quad (2)$$

3.4 Önerilen Şema

Önerilen şemada, dijital görüntüye ilk önce ADD işlemi uygulanmaktadır. Bu dönüşüm sonrasında elde edilen LL bandına TDA işlemi uygulanmıştır. Aynı şekilde damgayı da TDA işlemi uygulanmaktadır. Damgayı uygulanan TDA ile elde edilen tekil değer matrisine (Σ_D) boyut indirgeme işlemi uygulanarak $\Sigma_{D,k}$ elde edilmiştir. Daha sonra Algoritma 1, Satır 6'da yer alan denklik kullanılarak tekil vektörler birleştirilmiştir. Böylece damgayı ait indirgenmiş tekil vektörler dijital görüntüye ait tekil vektörlere gömülmüştür. Elde edilen toplam tekil vektör matrisi satır 7'de olduğu gibi ters TDA yöntemi uygulanarak LL^* elde edilmiştir. Elde edilen LL^* ve diğer alt bantlar kullanılarak ADD dönüşümünün tersi uygulanır ve damgalanmış görüntü (H^*) elde edilir. Önerilen tekniğe ait damga gizleme ve geri çıkarma işlem adımları sırasıyla Şekil 2 ve Şekil 3'de gösterilmektedir.



Şekil 2. Damga gizleme şeması

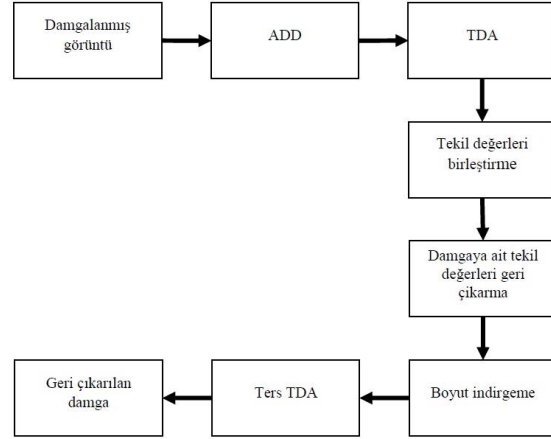
Algoritma 1: Damga Gizleme Algoritması

Girdi: Dijital Kapak Görüntüsü (H), Damga (D), Ölçekleme Katsayısı (α)

Çıktı: Damgalanmış Görüntü (H^*), $U_{D,k}$, $V_{D,k}^T$, Σ_H

1. Start
2. $[LL, HL, HL, HH] = ADD(H)$
3. $[U_H, \Sigma_H, V_H^T] = TDA(LL)$
4. $[U_D, \Sigma_D, V_D^T] = TDA(D)$
5. $[U_{D,k}, \Sigma_{D,k}, V_{D,k}^T] = BoyutIndirgeme(U_D, \Sigma_D, V_D^T)$
6. $\Sigma_H^* = \Sigma_H + \alpha \Sigma_{D,k}$
7. $LL^* = U_H \Sigma_H^* V_H^T$
8. $H^* = TersADD(LL, HL, HL, HH)$
9. Return H^*
10. End.

Burada damgalamanın gerçekleştirileceği dijital görüntüyü H , damgayı D temsil etmektedir. Ayrıca damgalama sonrası elde edilen damgalanmış görüntüyü ve geri çıkarılan damgayı sırasıyla H^* ve D^* temsil etmektedir.



Şekil 3. Damga geri çıkarma şeması

Algoritma 2: Damgayı Geri Çıkarma Algoritması

Girdi: Damgalanmış Görüntü (H^*), $U_{D,k}$, $V_{D,k}^T$, Σ_H Ölçekleme Katsayısı (α)

Çıktı: Geri Çıkarılan Damga (D^*)

1. Start
2. $[LL, HL, HL, HH] = TDA(H^*)$
3. $[U_H^*, \Sigma_H^*, V_H^{T*}] = TDA(LL)$
4. $\Sigma_D^* = (\Sigma_H^* - \Sigma_H) / \alpha$
5. $\Sigma_{D,k}^* = BoyutIndirgeme(\Sigma_D^*)$
6. $D^* = U_{D,k} \Sigma_{D,k}^* V_{D,k}^T$
7. Return D^*
8. End.

Damganın geri çıkarılmasında damgalanmış görüntü ile birlikte damga gömme algoritmasından elde edilen $U_{D,k}$, $V_{D,k}^T$ ve Σ_H matrisleri de girdi olarak kullanılmaktadır. Ölçekleme katsayısının da damga gizlemedeki ile aynı olması gerekmektedir. Damganın geri çıkarılmasında damgalanmış görüntüye ADD uygulandıktan sonra elde edilen LL alt bandına TDA işlemi yapılır. Algoritma 2'deki 4. satırda olduğu gibi TDA sonrası elde edilen tekil değer vektörü (Σ_H^*), orijinal kapak görüntüsüne ait tekil değer matrisi (Σ_H) ve ölçekleme faktörü kullanarak gizlenmiş damgayı ait tekil değer matrisi (Σ_D^*) elde edilir. Daha sonra girdi olarak alınan $U_{D,k}$ ve $V_{D,k}^T$ matrisleriyle çarpılarak damga D^* geri çıkarılır.

4. Deneysel Analizler

Çalışmada önerilen Kesik-TDA tekniğinin veri damgalama sürecindeki performansını incelemek için temel TDA tekniğine göre kıyaslaması gerçekleştirilmiştir. Her iki teknikte de öncelikle ADD uygulanmış ve LL bandına kesik-TDA ya da TDA uygulanarak iki şema elde edilmiştir. Elde edilen modelleri kıyaslamak için ise Şekil 4'de gösterilen kapak ve damga görüntüleri kullanılmıştır.



Şekil 4. Kapak Görüntüleri (a. H1 ve b. H2) (b) Damga-D

Performans analizi için damgalanmış görüntüden geri çıkarılan damganın dayanıklılığını ölçmek için kullanılan Normalized Correlation (NC) sonuçları incelenmiştir. Aynı zamanda damgalanan görüntüdeki algılanamazlığı ölçmek için de Peak Signal Noise Ratio (PSNR), Structural Similarity Index Measure (SSIM) metrikleri hesaplanmıştır. Aşağıda yer alan denklik 3, denklik 4 ve denklik 6 sırasıyla NC, PSNR ve SSIM metriklerini bulmak için kullanılmaktadır.

$$NC(D, D^*) = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n D_{i,j} D_{i,j}^*}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n D_{i,j}^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n D_{i,j}^{*2}}} \quad (3)$$

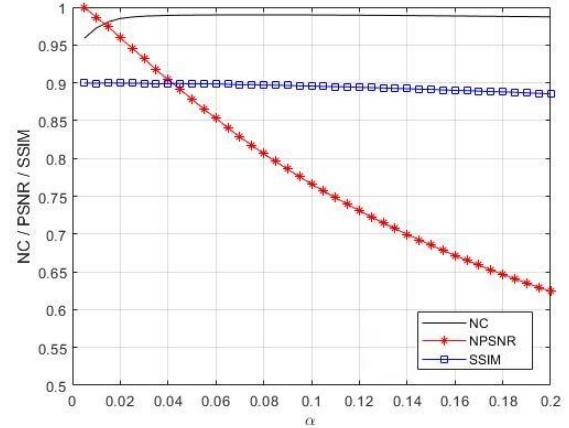
$$PSNR(H, H^*) = 10 \log_{10} \frac{H_{max}^2}{MSE(H, H^*)} \quad (4)$$

$$MSE(H, H^*) = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (H_{i,j} - H_{i,j}^*)^2}{m^2} \quad (5)$$

$$SSIM(H, H^*) = \frac{2\mu_H \mu_{H^*} + v_1}{\mu_H^2 + \mu_{H^*}^2 + v_1} \cdot \frac{\alpha_{HH^*} + v_2}{\alpha_H^2 + \alpha_{H^*}^2 + v_2} \quad (6)$$

μ_H ve μ_{H^*} sırasıyla H ve H^* görüntülerinin ortalamasını, α_H^2 ve $\alpha_{H^*}^2$ ise H ve H^* 'nin varyansını temsil eder. v_1 ve v_2 değişkenleri ise pay ve paydayı dengelemek için kullanılan iki değişkendir. α_{HH^*} H ve H^* 'nin kovaryansını temsil eder. Damganın dayanıklılığını ölçmek için çeşitli

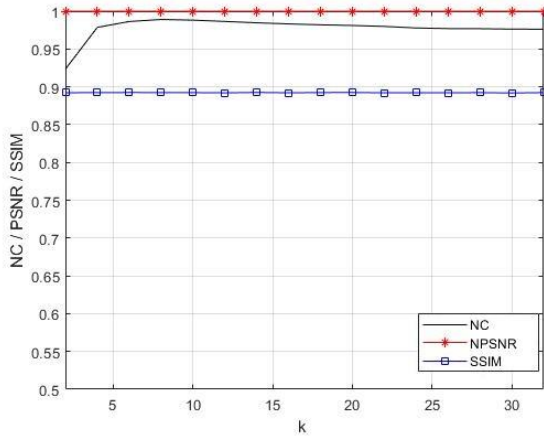
gürültü (Gaus - GG, Tuz & Biber – TBG ve Benek-BG gürültüleri), sıkıştırma (JPEG (QF=50)ve JPEG2000 (CR=12)), filtreleme (Gauss düşük geçiş-GDGF, Median-MF ve Average-AF), geometrik (Görüntü Ölçekleme(0.25,4)-ÖF ve görüntü kırpm (2%)-GK) histogram eşitleme-HE), ve bulanıklaştırma atakları uygulanmıştır.



Şekil 5. Ölçekleme faktörüne göre NC, PSNR VE SSIM metriklerinin değişimi

Damganın gömülmesi ve geri çıkarılması aşamasında kullanılan ölçekleme faktörünün belirlenmesi için 0.01 ve 0.2 arasındaki alpha değeri için olası saldırılara karşı elde edilen ortalama sonuçlar incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 5'de gösterilmektedir. PSNR sonuçları NC ve SSIM metrikleri gibi 0 ve 1 değeri arasında olacak şekilde normalize (NPSNR) edilmiştir. Şekil incelendiğinde α değeri arttıkça SSIM metriğinde önemli bir değişiklik olmaz iken PSNR metriğinde azalma görülmektedir. Diğer yandan NC metriği ölçekleme faktörüyle doğru orantılıdır. Önerilen çalışmanın hem dayanıklılığı hem de algılanamazlığını sağlamak için her iki metriğin kesiştiği ölçekleme faktörü 0.014 olarak belirlenmiştir. Burada boyut indirgeme sırasındaki k değeri 32 olarak ele alınmıştır.

Kesik-TDA yönteminde görüntü matrisinin boyutunun indirgeneceği k değerinin belirlenmesi için ölçekleme değeri 0.014 olarak alınmış ve k değerine göre performans sonuçları incelenmiştir. PSNR ve SSIM değerleri k değerine göre çok değişmese de dayanıklılık yani NC değerine göre k değerinin belirlenmesi mümkün olmaktadır. Buna göre Şekil 6'de k değerinin 8 olduğu durumda en iyi performans değerlerinin elde edildiği gözlenmiştir.



Şekil 6. k değerine göre NC, PSNR VE SSIM metriklerinin değişimi

Çizelge 1. Çeşitli ataklara göre damgalamanın dayanıklılığına dair sonuçlar (Kapak Görüntüsü $H1$, Damga= D).

Saldırılar	Teknikler	NC		
		$D(256 \times 256)$	$D(128 \times 128)$	$D(64 \times 64)$
Saldırızsız	TDA	1.0000	1.0000	1.0000
	Kesik-TDA	1.0000	1.0000	1.0000
GG	TDA	0.9682	0.9553	0.9684
	Kesik-TDA	0.9886	0.9954	0.9915
TBG	TDA	0.9937	0.9910	0.9924
	Kesik-TDA	0.9995	0.9954	0.9968
BG	TDA	0.9925	0.9918	0.9940
	Kesik-TDA	0.9997	0.9988	0.9969
JPEG (QF=50)	TDA	0.9995	0.9977	0.9948
	Kesik-TDA	0.9998	0.9986	0.9965
JPEG2000 (CR=12)	TDA	0.9957	0.9947	0.9976
	Kesik-TDA	0.9996	0.9995	0.9990
GDGF	TDA	0.9339	0.8421	0.7942
	Kesik-TDA	0.9571	0.9199	0.8587
MF	TDA	0.9707	0.9194	0.8969
	Kesik-TDA	0.9939	0.9776	0.9467
AF	TDA	0.9330	0.8405	0.7923
	Kesik-TDA	0.9564	0.9175	0.8567
GÖ	TDA	0.9028	0.7748	0.7206
	Kesik-TDA	0.9275	0.8717	0.8132
GK	TDA	0.8493	0.7824	0.6770
	Kesik-TDA	0.8504	0.7939	0.7171
HE	TDA	0.9603	0.9623	0.9642
	Kesik-TDA	0.9585	0.9591	0.9550

Önerilen Kesik-TDA tabanlı damgalama tekniğinin dayanıklılığına dair bulgular Çizelge 1'de listelenmektedir. Burada 256x256, 128x128 ve 64x64 olarak 3 farklı boyuttaki damgaların 512x512 boyutundaki kapak görüntüsüne damgalanması ve geri çıkarılması sonrasındaki dayanıklılığı incelenmiştir. Buna göre önerilen yöntemin

neredeyse saldırıların tamamına yakınında daha dayanıklı olduğu gözlenmiştir.

Önerilen damgalama tekniği ile damgalanan görüntüdeki damganın algılanamazlığına dair inceleme sonuçları Çizelge 2'de sunulmaktadır. Lena ($H1$) ve Man ($H2$) isimli standart görüntü işleme görüntülerinin damgalama sonrasındaki PSNR ve SSIM metriklerine ait sonuçlar listelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre önerilen yöntemin algılanamazlığının klasik TDA tabanlı yöntemle göre daha iyi olduğu gözlenmiştir.

Çizelge 2. Önerilen yöntemde damganın algılanamazlığına dair sonuçlar

H	D	Teknikler	PSNR	SSIM
H1	$D(256 \times 256)$	TDA	41.7030	0.9995
		Kesik-TDA	41.7236	0.9997
	$D(128 \times 128)$	TDA	46.7489	0.9998
		Kesik-TDA	47.6609	0.9999
$D(64 \times 64)$	TDA	51.9138	0.9999	
	Kesik-TDA	52.7548	0.9999	
H2	$D(256 \times 256)$	TDA	41.7178	0.9996
		Kesik-TDA	41.7802	0.9996
	$D(128 \times 128)$	TDA	47.8049	0.9998
		Kesik-TDA	48.3665	0.9998
	$D(64 \times 64)$	TDA	51.6808	0.9999
		Kesik-TDA	52.0426	0.9999

5. Sonuçlar

Bu çalışmada literatürde sıklıkla karşılaşılan TDA ve ADD temelli algoritmalara alternatif olarak boyut indirgeme tabanlı bir damgalama şeması önerilmiştir. Tekil değer ayrışımı sonrası yapılan boyut indirgeme sayesinde damgaya ait daha az veri kapak görüntüsüne gizlenmiştir. Böylece kapak görüntüsü üzerindeki algılanamazlıkta artış elde edilmiştir. Bunun yanı sıra boyut indirgeme yaklaşımının kazandırdığı en önemli avantajlardan birisi de sinyal üzerindeki gürültülerin etkisini azaltmasıdır. Böylece daha olası sinyal işleme ve görüntü işleme saldırılarına karşı daha dayanıklı şema elde edilmiştir. Bu çalışmanın gelecekteki farklı matris ayrışımı ve sinyal dönüşümlerinin kombine bir şekilde kullanıldığı birçok damgalama çalışmalarında araştırmacılara yön vermesi beklenmektedir.

5. Kaynaklar

- Alshoura W. H., Zainol Z., The, J. S, Alawida M., and Alabdulatif, A., 2021. Hybrid SVD-Based Image Watermarking Schemes: A Review. *IEEE Access*, **9**, 32931-32968.
- Ansari, I. A., Pant, M., and Ahn, C. W., 2016. Robust and false positive free watermarking in IWT domain using SVD and ABC. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, **49**, 114-125.
- Byun, S. C., Lee, S. K., Tewfik, A. H., and Ahn, B. H., 2003. A SVD-Based Fragile Watermarking Scheme for Image Authentication. *IWDW 2002. Lecture Notes in Computer Science*, **2613**, 170-178.
- Chai, D., Wang, L., Chen, K., & Yang, Q., 2020. Secure federated matrix factorization. *IEEE Intelligent Systems*, **36(5)**, 11-20.
- Chen, J., and Saad, Y., 2008. Lanczos vectors versus singular vectors for effective dimension reduction. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, **21(8)**, 1091-1103.
- Ernawan, F., and Kabir, M. N., 2019. An improved watermarking technique for copyright protection based on tchebichef moments. *IEEE Access*, **7**, 151985-152003.
- Evsutin, O., and Dzhanashia, K., 2022. Watermarking schemes for digital images: Robustness overview. *Signal Processing: Image Communication*, **100**, 116523.
- Evsutin, O., Melman, A., and Meshcheryakov, R. 2020. Digital steganography and watermarking for digital images: A review of current research directions. *IEEE Access*, **8**, 166589-166611.
- Fierro, R. D., and Hansen, P. C., 1997. Low-rank revealing UTV decompositions. *Numerical Algorithms*, **15(1)**, 37-55.
- Ganic, E., and Eskicioglu, A. M., 2004. Robust DWT-SVD domain image watermarking: embedding data in all frequencies. *In Proceedings of the 2004 Workshop on Multimedia and Security*, 166-174.
- Hernández-Lobato, J. M., Houlsby, N., and Ghahramani, Z., 2014. Probabilistic matrix factorization with non-random missing data. *In International Conference on Machine Learning*, 1512-1520.
- Horasan, F., 2022. A novel image watermarking scheme using ULV decomposition. *Optik*, **259**, 168958.
- Jessup, E. R., and Martin, J. H., 2001. Taking a new look at the latent semantic analysis approach to information retrieval. *Computational information retrieval*, 121-144.
- Kadian, P; Arora, S. M. and Arora, N., 2021. Robust digital watermarking techniques for copyright protection of digital data: A survey. *Wireless Personal Communications*, **118(4)**, 3225-3249.
- Kumar, S., Gupta, A., and Walia, G. S., 2021. Reversible data hiding: A contemporary survey of state-of-the-art, opportunities and challenges. *Applied Intelligence*, **52**, 7373-7406.
- Kumar, S., Singh, B. K., 2021. A Review on Digital Watermarking-Based Image Forensic Technique. *Machine Vision and Augmented Intelligence—Theory and Applications, Lecture Notes in Electrical Engineering*, **796**, 91-100.
- Li, H., Liu, T., Wu, X., and Chen, Q., 2019. Research on bearing fault feature extraction based on singular value decomposition and optimized frequency band entropy. *Mechanical Systems and Signal Processing*, **118**, 477-502.
- Litman, J., 2017. Digital Copyright. Digital Copyright, *Maize Books University of Michigan Press*
- Liu, J., Huang, J., Luo, Y., Cao, L., Yang, S., Wei, D., and Zhou, R., 2019. An optimized image watermarking method based on HD and SVD in DWT domain. *IEEE Access*, **7**, 80849-80860.
- Liu, R., and Tan, T., 2002. An SVD-based watermarking scheme for protecting rightful ownership. *IEEE Transactions on Multimedia*, **4(1)**, 121-128.
- Liu, W., Yuan, K., and Ye, D., 2008. Reducing microarray data via nonnegative matrix factorization for visualization and clustering analysis. *Journal of biomedical informatics*, **41(4)**, 602-606.
- Luo, Y., Li, L., Liu, J., Tang, S., Cao, L., Zhang, S., Qiu, S., and Cao, Y., 2021. A multi-scale image watermarking based on integer wavelet transform and singular value decomposition. *Expert Systems with Applications*, **168**, 114272.
- Nikulin, V., Huang, T. H., Ng, S. K., Rathnayake, S. I., and McLachlan, G. J., 2011. A very fast algorithm for matrix factorization. *Statistics & probability letters*, **81(7)**, 773-782.
- Postigo, H., 2012. The digital rights movement: The role of technology in subverting digital copyright, MIT Press.

- Rajendran, S., Kulkarni, V., Chaudhari, S., and Gupta, P. K., 2020. An update on medical data steganography and encryption. *In Recent Trends in Image and Signal Processing in Computer Vision*, **1124**,181-199.
- Singh, L., Singh, A. K., and Singh, P. K. 2020. Secure data hiding techniques: a survey. *Multimedia Tools and Applications*, **79(23)**, 15901-15921.
- Vaidya P., and Pvssr C.M., 2017. A robust semi-blind watermarking for color images based on multiple decompositions. *Multimedia Tools and Applications*, **76(24)**, 25623-25656.
- Wang, F. H., Pan, J. S., and Jain, L. C., 2009. Digital watermarking techniques. *In Innovations in Digital Watermarking Techniques*,**232**,11-26.
- Xiang, Y., Huang, J., Pérez-González, F., Hua, G., and Malik, H., 2016. IEEE access special section editorial: latest advances and emerging applications of data hiding. *IEEE Access*, **4**, 9740-9742.
- Zainol, Z., Teh, J. S., and Alawida, M., 2020. A new chaotic image watermarking scheme based on SVD and IWT,*IEEE Access*,**8**, 43391-43406.
- Zhou, G., Cichocki, A., and Xie, S., 2012. Fast nonnegative matrix/tensor factorization based on low-rank approximation. *IEEE Transactions on Signal Processing*, **60(6)**, 2928-2940.