

AYRIK KOSİNÜS DÖNÜŞÜMÜ DC BİLEŞENLERİ VE ÇOKLU-ADAPTİF ÖLÇEKLEME FAKTÖRLERİ KULLANILARAK DAYANIKLI GÖRÜNTÜ DAMGALAMA

Rifat KURBAN^{1*}, Hakkı BOZPOLAT^{2,3}

¹Kayseri Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Kayseri

ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-0277-2210>

²Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Müh. Anabilim Dalı, Kayseri

³TÜBİTAK, Bilişim ve Bilgi Güvenliği İleri Teknolojiler Araştırma Merkezi, Gebze, Kocaeli

ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-6189-4103>

Anahtar Kelimeler	Öz
Görüntü işleme, sayısal damgalama, ayrik kosinüs dönüşümü, dayanıklı damgalama, DC bileşenler	Son yıllarda internet kullanımında hem kullanıcı sayısının hem de bağlantı hızlarının artması nedeniyle sayısal bilgilerin çoğaltılması ve işlenmesi yaygın hale gelmiştir. Bu nedenle dijital resimlerin kopyalanma riskine karşı korunması ihtiyacı doğmuştur. Telif hakkının korunması için önerilen yöntemlerden birisi de sayısal görüntünün damgalanmasıdır. Bu çalışmada, ayrik kosinüs dönüşümü (AKD) uzayında katsayıların değiştirilmesiyle dayanıklı bir sayısal damgalama yöntemi gerçekleştirmek ve mevcut yöntemlerin başarımını arttırmak amaçlanmıştır. Çoklu-adaptif ölçekleme faktörleri kullanan önerilen yöntemde, damgalanacak görüntünün tüm blokları uzaysal resim frekansı (URF) metriği ile değerlendirilmiş ve her bloğa doku miktarıyla orantılı olarak bir ölçekleme faktörü atanmıştır. Böylece, damgalanan görüntünün en az bozulmayla ataklara karşı en fazla dayanımı göstermesi amaçlanmıştır. Gerçekleştirilen deneylerde, önerilen çoklu-adaptif ölçekleme faktörü kullanan damgalama yönteminin sabit ve ikili-adaptif ölçekleme faktörü kullanan yöntemlere göre aynı saydamlık düzeyinde ataklara karşı daha başarılı olduğu görülmüştür.

ROBUST IMAGE WATERMARKING USING DISCRETE COSINE TRANSFORM DC COMPONENTS AND MULTI-ADAPTIVE SCALING FACTORS

Keywords	Abstract
Image processing, digital watermarking, discrete cosine transform, robust watermarking, DC components	In recent years, processing and deployment of digital information has become common, due to the increase in both the number of users and connection speeds in internet use. Therefore, the need to protect digital pictures against the risk of copying has arisen. One of the recommended methods for copyright protection is the watermarking of digital images. In this study, it is aimed to perform a robust digital watermarking method by changing the coefficients in the discrete cosine transform (DCT) domain and to increase the performance of the existing methods. In the proposed method by using multiple adaptive scaling factors, all blocks of the input image are evaluated with the spatial frequency (SF) metric and each block is assigned by a scaling factor proportional to the amount of texture. Therefore, it is aimed that watermarked images exhibit maximum resistance against attacks with minimum deformation. In the experiments performed, it is seen that the proposed multiple adaptive scaling factors method is more efficient against the attacks at the same transparency level than the methods using fixed and dual-adaptive scaling factors.
Araştırma Makalesi	Research Article
Başvuru Tarihi : 17.11.2021	Submission Date : 17.11.2021
Kabul Tarihi : 20.01.2022	Accepted Date : 20.01.2022

1. Giriş

Son yıllarda cep telefonları, dijital kameralar gibi ürünlerin hayatımıza girmesiyle sayısal teknolojideki hızlı gelişmenin ardından sayısal verilerin iletimi oldukça yaygın bir hâle gelmiştir (Wang ve Sun, 2000).

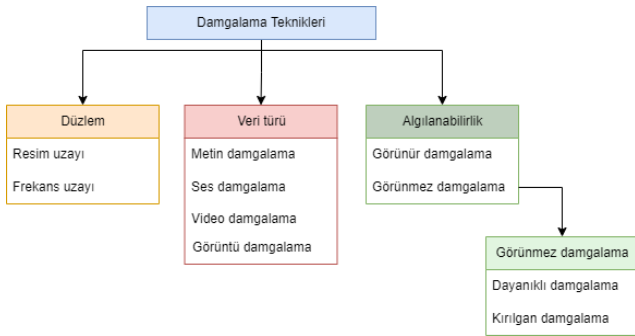
Bununla beraber resim, ses ve video gibi birçok sayısal olarak saklanan ve rahatlıkla paylaşılabilen verinin telif haklarının korunması önemli hâle gelmiştir (Langelaar, Setyawan ve Lagendijk, 2000). Telif hakkının korunması için önerilen yöntemlerden birisi de sayısal görüntülerin damgalanmasıdır (Wolfgang ve Delp,).

* Sorumlu yazar; e-posta : rifatkurban@kayseri.edu.tr

Sayısal damgalama, bir sayısal verinin damga olarak başka bir sayısal veriye kalıcı olarak saklanması şeklinde tanımlanır. Literatürde görüntü damgalama işlemi için birçok teknik geliştirilmiştir (Lee ve Jung 2001). Sayısal damgalama yöntemleri, telif haklarının korunması, veri bozulma kontrolü, veri doğrulama, veri gizleme, verilerin temin edildiği kişilerin izlenmesi, arşivleme gibi birçok farklı amaç için kullanılabilir.

2. Literatür İncelemesi

Sayısal damgalamanın kullanılması, internet kullanımının yaygınlaşması ve kullanıcı sayısının artmasıyla başlamıştır. Sayısal damgalama, ilk başlarda sayısal verinin sahipliğinin belirlenmesi amacıyla kullanılmaya başlanmıştır. Daha sonraları yayın izleme, veri bozulma kontrolü, veri doğrulama, veri gizleme, verilerin tahsil edildiği kişilerin izlenmesi ve arşivleme gibi birçok amaç için kullanılmıştır (Tefas, Nikolaidis ve Pitas, 2009).



Şekil 1. Damgalama tekniklerinin sınıflandırılması

Damgalama tekniklerinin genel bir sınıflandırması Şekil 1'de özetlenmiştir. Buna göre, damgalama teknikleri damganın gömüleceği düzleme göre, resim uzayı ve frekans uzayı teknikleri olmak üzere ikiye ayrılır. Resim uzayı teknikleri, damgayı kaynak resmin piksel değerlerini güncelleyerek gömer (Chang, Chen ve Chung, 2002; Yu, Chang ve Hu, 2005). Frekans uzayı teknikleri ise ayrık fourier dönüşümü (AFD), tekil değer ayrışımı (TDA), ayrık dalgacık dönüşümü (ADD) ve ayrık kosinüs dönüşümü (AKD) gibi dönüşüm uzaylarının katsayılarını güncellemek suretiyle damgayı kaynak görüntüye gömen tekniklerdir (Yu, Chang ve Hu, 2005; Hsu ve Wu, 1998). Frekans uzayındaki damgalama için öncelikle görüntü frekanslarına ayrılır. Frekanslara ayırmada kullanılan dönüştürme yöntemlerinden AKD, birçok avantajından dolayı görüntü damgalama yöntemlerinde öncelikli olarak tercih edilir (Yu-Ting, 2006). Frekans uzayı yöntemleri genelde, resim uzayı yöntemlerine göre ataklara karşı daha fazla dayanıklıdır (Aslantas, 2008).

Veri türüne göre sayısal damgalama teknikleri, metin damgalama (Aslantas, 2008; Jalil ve Mirza, 2009; Kankanhalli ve Hau, 2002; Qadir ve Ahmad, 2005), ses

damgalama (Boney, Tewfik ve Hamdy, 1996; Gordy ve Bruton 2000; Swanson, Zhu, Tewfik ve Boney, 1998), video damgalama (Hartung ve Girod, 1996; Jadhav ve Kolhekar, 2014) ve görüntü damgalama (Chao, Huang ve Chen, 2006; Jiansheng, Sukang ve Xiaomei, 2009; O'Ruanaidh ve Pun, 1997) olmak üzere dört başlık altında toplanır (Öztürk, 2009).

Damgalama teknikleri, algılanabilirliğe göre görünür ve görünmez damgalama olarak sınıflandırılır (Aslantas, Özer ve Öztürk, 2006). Görünür damgalama yönteminde filigran, sayısal görüntünün bir bölgesine tespit edilecek şekilde yerleştirilir. Görünmez damgalama yönteminde ise sayısal görüntüye damgalanan filigran, sadece damgalayan kişi tarafından belirli bir algoritma ve anahtara göre uygulanır ve buna göre geri çıkarılır (Shieh, Huang, Wang ve Pan, 2004). Görünür damgalar, logo gibi bir görüntü üzerinde bulunurlarken görünmez damgalar, görüntünün içerisine gözle görülemeyecek bir şekilde gizlenir (Pan, Huang ve Jain, 2004).

Görünmez damgalama algoritmaları, dayanıklı ve kırılğan olmak üzere ikiye ayrılır. Dayanıklı damgalama algoritmalarında, damgalanmış görüntünün orijinal görüntüye göre mümkün olduğunca az bozulması ve ataklar sonucu damgalanmış görüntüden çıkarılan damganın, orijinal damgaya olduğunca çok benzemesi amaçlanır. Kırılğan damgalama algoritmaları ise damgaya basit bir değişiklik uygulandığında zarar görecektir bir yapıya sahiptir. Kırılğan yapı damgalama yöntemleri, veri üzerinde değişiklik olup olmadığının kontrolü için önerilmektedir (Kong ve Feng, 2001). Kırılğan damgalamada, damganın sayısal verinin içerisine gömülmesi için birçok yöntem vardır. Özellikle sayısal verilerin anlamsız bölgelerine gömülen sayısal damgalar, verinin görünümünü az etkiler ve kırılğanlığa olan hassasiyetini artırır. Kırılğan damgalama yöntemleri, genel olarak blok tabanlı veya piksel değerinin anlamsız bitleri değiştirilerek yapılmıştır. Dayanıklı damgalama teknikleri ise genellikle güvenlik ve telif hakkının korunması için önerilmektedir (Lu, Shen ve Chung, 2003).

Sayısal damgalama alanındaki problemlerin çözümü için bu çalışma kapsamında:

- DC bileşenleri modifiye eden sabit ölçekleme faktörü kullanan AKD tabanlı damgalama tekniği (DC-AKD), farklı ölçekleme faktörleri ve çeşitli resimler üzerinde test edilerek damga dayanıklılığı ve şeffaflığı analiz edilmiştir.
- Huang'ın EPD kullanarak ikili-adaptif DC-AKD dayanıklı damgalama yönteminde (HUANG-EPD) (Huang, Shi ve Shi, 2000), çeşitli ön-tanımlı ölçekleme faktörleri kullanılmış ve çeşitli görüntüler kullanılarak test edilerek damga dayanıklılığı ve şeffaflığı analiz edilmiştir.

- Çalışma kapsamında bir çoklu adaptif URF tabanlı DC-AKD dayanıklı damgalama teknik önerilmiş olup (ÇOKLU-ADAPTİF), bu yöntemde ölçekleme faktörü adaptif olarak görüntüdeki blokların dokusuna göre belirlenmiş ve farklı görüntüler kullanılarak test edilerek damga dayanıklılığı ve şeffaflığı analiz edilmiştir.

3. Yöntem

Ayrık kosinüs dönüşümü (AKD) sinüzoidal bir dönüşümdür. AKD, Fourier dönüşümüne benzerdir. Ancak yalnızca kosinüs terimlerini kullanır ve sinüs terimlerini kullanmaz. Bundan dolayı karmaşık bileşenler içermez (Pan ve Bolouri, 1999). Ayrık kosinüs dönüşümü, frekans alanında en iyi enerji dağılımını sağlaması nedeniyle birçok kodlama sisteminde, başarıyla kullanılmaktadır (Chen, 2007).



Şekil 2. AKD katsayı gruplaması

AKD tabanlı damgalama tekniği, ilk olarak Zhao ve Koch tarafından ileri sürülmüştür. Zhao ve Koch, damga gömme işlemini 8x8'lik AKD bloklarının orta bant frekans bölgesine yapmışlardır (Koch ve Zhao,1995).

İki boyutlu bir AKD'ye ait temel denklemler aşağıdaki gibidir (Öztürk,2009):

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

Burada $\rho(u)$ ve $\rho(v)$ aşağıdaki denklemden hesaplanır:

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

İki boyutlu ters AKD (TAKD) ise aşağıdaki gibi tanımlanır:

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

$C(0,0)$ AKD dönüşümünde, DC (alçak frekans) bileşen olarak adlandırılır ve diğer katsayılara göre baskın ve büyük bir değer ihtiva eder. Diğer bileşenler ise AC (yüksek frekans) bileşenler olarak adlandırılmaktadır. DC bileşenlerin çeşitli saldırılarına karşı duyarlılığı, AC bileşenlere oranla daha azdır. DC katsayılara damga gömülmesi durumunda blokla blokla etkisi artarken görünmezlik etkisi azalır. 8x8'lik bir bloktaki bileşenlerin sınıflandırılması Şekil 2'de verilmiştir. AKD tabanlı dayanıklı damgalama yönteminin temel çalışması, Şekil 3'de blok diyagram olarak verilmiştir.

3.1 DC Bileşenleri Kullanarak AKD Tabanlı Dayanıklı Damgalama Yöntemi (DC-AKD)

DC bileşenleri modifiye eden AKD tabanlı bu damgalama tekniğinde, sabit bir ölçekleme faktörü kullanılır. Bu yöntemde damga gömme işlemi aşağıdaki gibi yapılmaktadır.

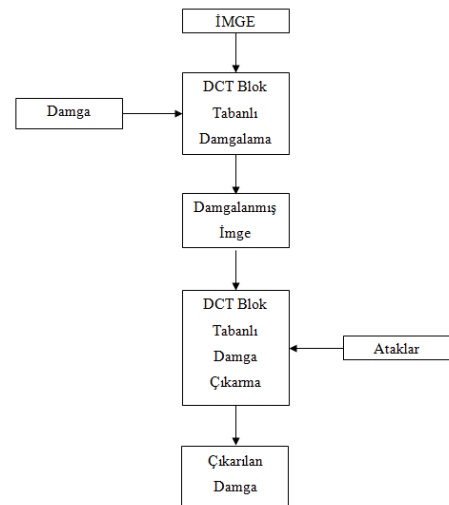
- 1) Orijinal resim (I) 8×8 'lik bloklara (B_i) ayrılır.
- 2) Tüm bloklara ayrı ayrı AKD (D_i) uygulanır.
- 3) Orijinal görüntü içerişine gömülecek damga $\mu=0$ ve $\sigma=1$ olarak standart normal dağılıma sahip rastgele oluşturulmuştur.

$$w = \{x_i, 0 \leq i \leq k\} \quad (4)$$

burada k , blok sayısıdır. Damgalama işlemi sadece DC katsayıları güncellenerek gerçekleştirilmiştir. Temel gömme denklemi şu şekildedir:

$$F'_k(u, v) = \begin{cases} F_k(u, v) \cdot (1 + \alpha \cdot x_k) & \text{Eğer } u = v = 0 \\ F_k(u, v) & \text{Diğer} \end{cases} \quad (5)$$

burada α ; ölçekleme faktörüdür.



Şekil 3. AKD tabanlı damga gömme ve çıkarma

Damga çıkarma işlemi ise aşağıda belirtildiği gibi gerçekleştirilir.

- 1) Damganın tekrar elde edilebilmesi için damgalanmış resim (WI) ve orijinal resim (I) yine 8×8 'lik bloklara (B_i) ayrılır.
- 2) Bu bloklara AKD uygulanır (D_i).
- 3) AKD uygulanmış orijinal resim ve damgalanmış resmin her bir bloğundaki DC bileşenlerin farkları alınır.

$$W_k^* = F_k^*(0,0) - F_k(0,0)$$

$$W^* = \bigcup_i W_k^* \{x_i^*, 0 \leq i \leq n\} \quad (6)$$

3.2 İkili-adaptif DC-AKD Dayanıklı Damgalama Yöntemi (HUANG-EPD)

Bir görüntüde farklı bloklar, genellikle farklı özelliklere sahiptir. Blokların bazıları zayıf bileşenler içerirken bazıları ise güçlü bileşenler içerebilir. Bu nedenle bu durum, eklenen damga sinyallerinin görünürlüğünü etkileyecektir. DC bileşenleri modifiye eden AKD tabanlı bu damgalama tekniğinde; zayıf bileşenlere güçlü damga sinyalleri, güçlü bileşenlere ise zayıf damga sinyalleri eklemek amacıyla Huang ve arkadaşları tarafından iki ön-tanımlı ölçekleme faktörü kullanılmıştır (Huang, Shi ve Shi, 2000).

Bu yöntemde, DC-AKD yönteminden farklı olarak, damga gömme işlemi için kullanılan ölçekleme faktörünü belirlemek için her bir blok, o bloğun doku değerini veren bir sayısal değer ile ifade edilir. Bu değer, bir eşik seviyesine bağlı olarak belirlenir. Bu işleme yönelik temel denklem şu şekildedir.

$$e(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{grad}(x,y) \geq \text{esikdeğer} \\ 0 & \text{Diğer} \end{cases} \quad (7)$$

Burada $\text{grad}(x,y)$, Robert operatörü kullanılarak elde edilir.

$$\text{grad}(x,y) = \text{Robert}\{f(x,y)\}, \quad 0 \leq x, y < N \quad (8)$$

Her blok için elde edilen doku değeri ve bir eşik değerine göre iki ön tanımlı ölçekleme faktöründen birisi olarak güncellenir.

$$\alpha = \begin{cases} \alpha_1 & \sum(e) > \text{eşik değer}_2 \\ \alpha_2 & \text{Diğer} \end{cases} \quad (9)$$

Damga çıkarma işlemi ise DC-AKD yönteminde belirtildiği gibi gerçekleştirilir.

3.3 Önerilen Çoklu-Adaptif Uzaysal Resim Frekansı (URF) Tabanlı DC-AKD Dayanıklı Damgalama Yöntemi (ÇOKLU-ADAPTİF)

HUANG-EPD yönteminde, her blok için belirli bir eşik değerine göre önceden tanımlı iki ölçekleme faktöründen birisi kullanılmaktadır. Bu nedenle belirlenen eşik değerine göre ölçekleme faktörlerinden birisine yakınsama meydana gelebilmektedir ve görüntü bazında farklı sonuçlar elde edilebilmektedir.

Önerilen DC bileşenleri modifiye eden AKD tabanlı damgalama tekniğinde, HUANG-EPD yönteminden farklı şekilde ölçekleme faktörü adaptif olarak resimdeki blokların doku değerlerine göre her bloğa özel olarak elde edilir. Böylece, ölçekleme faktörü belirleme zorunluluğu ortadan kalkmış ve ölçekleme faktörleri adaptif olarak görüntüdeki blokların doku değerlerine göre belirlenmiştir.

8×8 'lik her bir blok, o bloğun doku değerini veren bir piksel değeriyle ifade edilir ve böylece doku haritası çıkartılır. Uzaysal resim frekansı (URF) birinci derece türe ve dayalı görüntüdeki yüksek frekans bileşenlerini (kenar vb.) ölçen bir metriktir:

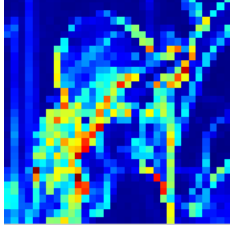
$$\text{URF} = \sqrt{C^2 + R^2} \quad (10)$$

burada C ve R, sırasıyla satır ve sütun gradyentleridir:

$$C = \left[\frac{1}{M \times N} \sum_i \sum_j [f(i,j) - f(i-1,j)]^2 \right]^{1/2}$$

$$R = \left[\frac{1}{M \times N} \sum_i \sum_j [f(i,j) - f(i,j-1)]^2 \right]^{1/2} \quad (11)$$

Lena test görüntüsü için her bir bloğun URF değerleri hesaplanarak oluşturulan doku haritası Şekil 4'de gösterildiği gibidir.



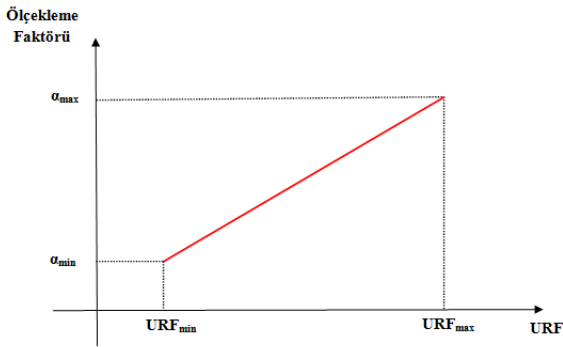
Şekil 4. Lena görüntüsü için URF ile elde edilen doku haritası

Doku haritasındaki piksel değerleri kullanılarak belirlenen α aralığına göre lineer bir dönüşüm sayesinde URF değerleri orantısal olarak ölçeklenerek adaptif ölçekleme faktörleri elde edilir.

$$\alpha = \frac{(URF - URF_{\min})(\alpha_{\min} - \alpha_{\max})}{URF_{\min} - URF_{\max}} + \alpha_{\min} \quad (12)$$

burada URF bir bölgenin doku değerini, α ise ilgili bölgenin adaptif ölçekleme faktörünü ifade etmektedir. URF ve α değerleri arasındaki ilişki Şekil 5'te verilmiştir.

Damga çıkarma işlemi ise DC-AKD yönteminde belirtildiği gibi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca belirtmek isteriz ki, bu makalede araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.



Şekil 5. Ölçekleme faktörünün URF' ye göre değişimi

4. Deneyler ve Bulgular

Dayanıklı damgalamada arzu edilen, damgalanmış görüntünün orijinal görüntüye göre mümkün olduğunca çok benzemesi (saydamlık) ve ataklar sonucu damgalanmış görüntüden çıkartılan damganın, orijinal damgaya mümkün olduğunca çok benzemesidir (dayanıklılık).

Test görüntüleri üzerinde pek çok deneyler yapılmıştır. Deneylerde öncelikle görüntüler, bahsedilen yöntemler kullanılarak damgalanmıştır. Damgalanmış

görüntülerin ne kadar bozulduğu ve çıkartılan damgaların orijinal damgaya ne kadar benzediği analiz edilmiştir. Diğer bir deneyde ise, damgalanan görüntüye çeşitli ataklar uygulanmış ve uygulanan atak sonrası çıkartılan damganın orijinal damgaya ne kadar benzediği analiz edilmiştir.

4.1 Kalite Metrikleri

Saydamlık (benzerlik) değerlendirmesi için SSIM metriği, dayanıklılık değerlendirmesi için korelasyon karşılaştırması kullanılmıştır.

Yapısal benzerlik (SSIM) indeksi iki görüntü arasındaki benzerliği ölçmek amacıyla kullanılmaktadır ve aşağıdaki denklemdeki gibi hesaplanır.

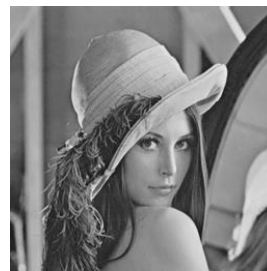
$$SSIM(I, WI) = \frac{(2\mu_I\mu_{WI} + c_1)(2\sigma_{IWI} + c_2)}{(\mu_I^2 + \mu_{WI}^2 + c_1)(\sigma_I^2 + \sigma_{WI}^2 + c_2)} \quad (13)$$

burada μ_I ve μ_{WI} sırasıyla I ve WI görüntülerinin ortalaması, σ_I^2 ve σ_{WI}^2 ise sırasıyla I ve WI 'nin varyansı, σ_{IWI} I ve WI 'nin kovaryansı, $c_1 = (k_1L)^2$ ve $c_2 = (k_2L)^2$ işlemi karalı hale getirmek için kullanılmış değişkenler, L piksellerin alabileceği değer aralığı, $k_1 = 0.01$ ve $k_2 = 0.03$ 'tür. SSIM indeksi -1 ve 1 arasında bir değer üretmektedir ve 1 değeri iki görüntünün aynı olduğu anlamına gelmektedir. Saydamlık kıyaslamasında SSIM değerinin mümkün olduğunca yüksek olması (1'e yakın) istenir.

Korelasyon katsayısı (CORR) orijinal damga ile geri elde edilen damga arasındaki benzerliği analiz etmek için kullanılır. Değeri 0 ve 1 arasında değişir. 1'e ne kadar yakın ise elde edilen damga orijinal damgaya o kadar benziyor demektir. Korelasyon katsayısına ait denklem aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$CORR(W, W^*) = \frac{\sum_m \sum_n (W_{mn} - \bar{W})(W_{mn}^* - \bar{W}^*)}{\sqrt{\left(\sum_m \sum_n (W_{mn} - \bar{W})^2\right) \left(\sum_m \sum_n (W_{mn}^* - \bar{W}^*)^2\right)}} \quad (14)$$

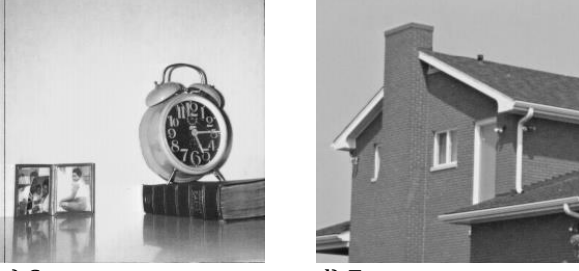
burada \bar{W} ve \bar{W}^* sırasıyla W ve W^* in ortalamalarını ifade etmektedir.



a) Lena



b) Kameraman



c) Saat d) Ev
Şekil 6. Damgalama deneyleri için kullanılan orijinal görüntüler

4.2 Deney Düzenegi ve Test Görüntüleri

Önerilen yöntemlerin başarımını test etmek amacıyla görüntü damgalama uygulamalarında sıkça kullanılan bazı test görüntüleri kullanılmıştır. Şekil 6'da gösterilen 256x256 boyutlarında gri tonlamalı 4 adet test görüntüsü kullanılarak çeşitli deneyler yapılmıştır.

$\alpha = 0.0050$

$\alpha = 0.0100$

$\alpha = 0.0250$

$\alpha = 0.0400$

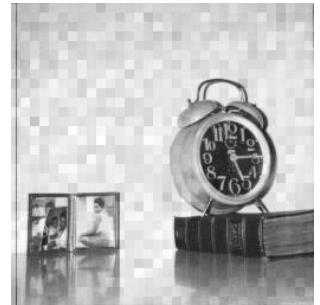
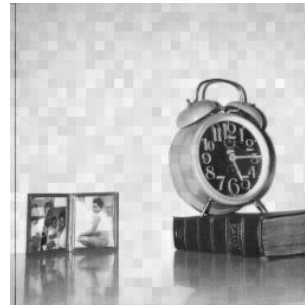
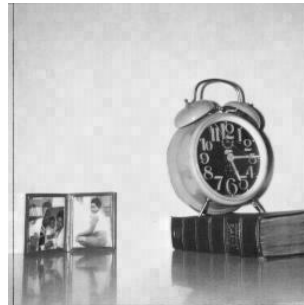
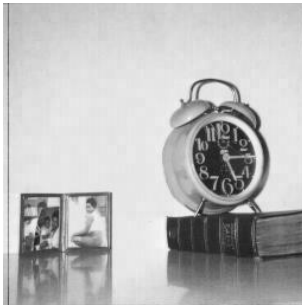
LENA



KAMERAMAN



SAAT

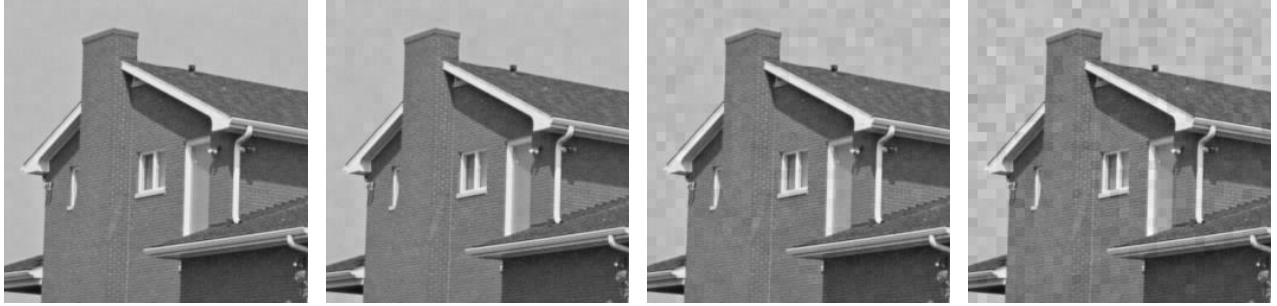


Deneyler MATLAB yazılım platformunda gerçekleştirilmiştir. Test görüntülerine gömülecek damga normal dağılımlı rastgele sayı jeneratörü ile üretilmiştir. Tüm deneyler hem damganın rastgele elde edilmesinden dolayı hem de ataklardan tuz & biber gürültüsünün rastgele olmasından dolayı her bir ölçkleme faktörü değeri için 50 kez tekrarlanmıştır ve ortalama değerler elde edilmiştir.

4.3 Deneysel Çalışmalar

DC-AKD, HUANG-EPD ve önerilen ÇOKLU-ADAPTİF damgalama yöntemlerinin başarımını test etmek amacıyla tüm test görüntüleri farklı parametreler ile damgalanmıştır. Her bir yöntemin kendisine has parametre kümesi olduğundan dolayı Tablo 1'de verilen parametre kombinasyonları ile tüm test görüntüleri ayrı ayrı damgalanmış ve elde edilen sonuçların orijinal görüntüye olan benzerlikleri (saydamlıkları) SSIM metriği ile hesaplanmıştır.

EV



Şekil 7. Çeşitli ölçekleme faktörü değerleri ile damgalanmış Lena, Kameraman, Saat ve Ev resimleri

DC-AKD damgalama yöntemi ile, ölçekleme faktörünün 0.004 ve 0.016 arasındaki farklı değerlerinin sonuca etkisi analiz edilmiştir. Örnek olarak, Şekil 7'de ölçekleme faktörünün 0.005, 0.010, 0.025 ve 0.040 değerleri için damgalanmış görüntüler verilmiştir. Benzer şekilde, HUANG-EPD ve önerilen ÇOKLU-ADAPTİF yöntemleri için Tablo 1'deki parametre değerleri kullanılarak test görüntüleri damgalanmıştır.

Tüm yöntemler için, damgalama yöntemlerinin saldırılara karşı dayanıklılığını test etmek amacıyla bulanıklaştırma (BL), JPEG sıkıştırma (JP), tuz & biber gürültüsü (TB) ve yeniden ölçekleme (YÖ) gibi 4 farklı saldırı gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1

Damgalama yöntemlerinin deneylerde test edilen parametre değerleri

Yöntem	Parametre Kümesi
DC-AKD	$a=0.0040, a=0.0045, a=0.0050, a=0.0055, a=0.0060, a=0.0070, a=0.0075, a=0.0080, a=0.0085, a=0.0090, a=0.0100, a=0.0160, a=0.0250, a=0.0400$
HUANG-EPD	$a_1=0.0030, a_2=0.010$ $a_1=0.0040, a_2=0.010$ $a_1=0.0050, a_2=0.010$ $a_1=0.0080, a_2=0.011$ $a_1=0.0020, a_2=0.015$ $a_1=0.0060, a_2=0.015$ $a_1=0.0060, a_2=0.016$ $a_1=0.0085, a_2=0.020$ $a_1=0.0100, a_2=0.020$
ÇOKLU-ADAPTİF	$a_{min}=0.003, a_{max}=0.010$ $a_{min}=0.004, a_{max}=0.010$ $a_{min}=0.005, a_{max}=0.010$ $a_{min}=0.006, a_{max}=0.020$ $a_{min}=0.006, a_{max}=0.030$ $a_{min}=0.007, a_{max}=0.030$ $a_{min}=0.008, a_{max}=0.030$ $a_{min}=0.008, a_{max}=0.040$ $a_{min}=0.009, a_{max}=0.040$

Örnek olarak, Şekil 8'de Lena, Kameraman, Saat ve Ev görüntüleri için DC-AKD yöntemi ile damgalanan görüntülere uygulanan saldırı sonucu elde edilen

görüntüler verilmiştir.

Tablo 2

DC-AKD yöntemi ile Lena resminin saydamlık ve dayanıklılık değerleri

	SAYDAMLIK (SSIM)	ATAKLARA KARŞI DAYANIKLILIK (CORR)			
		BL	JS	TB	YÖ
$a=0.0040$	0,9990	0,2661	0,5651	0,2446	0,7960
$a=0.0045$	0,9988	0,3010	0,6179	0,2819	0,8250
$a=0.0050$	0,9986	0,3410	0,6570	0,3130	0,8484
$a=0.0055$	0,9983	0,3676	0,6899	0,3459	0,8633
$a=0.0060$	0,9981	0,3944	0,7224	0,3795	0,8773
$a=0.0070$	0,9974	0,4508	0,7712	0,4334	0,8968
$a=0.0075$	0,9971	0,4732	0,7868	0,4541	0,9036
$a=0.0080$	0,9968	0,5053	0,8017	0,4716	0,9093
$a=0.0085$	0,9963	0,5227	0,8157	0,4931	0,9134
$a=0.0090$	0,9959	0,5475	0,8308	0,5220	0,9178
$a=0.0100$	0,9950	0,5893	0,8477	0,5577	0,9233
$a=0.0160$	0,9880	0,7394	0,9047	0,7178	0,9374
$a=0.0250$	0,9735	0,8407	0,9284	0,8285	0,9428
$a=0.0400$	0,9419	0,9014	0,9397	0,8959	0,9452

DC-AKD yöntemi ile Lena resminin damgalanması sonucu elde edilen SSIM saydamlık değerleri ve 4 farklı atak uygulanması sonucu oluşan görüntülerden çıkartılan damgaların CORR dayanıklılık değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2'de görüldüğü üzere, a değeri arttıkça saydamlık azalmakta ancak ataklara karşı dayanıklılık artmaktadır. $a=0.0100$ değerinde SSIM \geq 0.995 elde edilmiş ve bu durumda BL ve TB ataklarında 0.55'in üzerinde bir dayanıklılık değeri elde edilirken, JS ve YÖ için 0.84'ün üzerinde dayanıklılık değerleri elde edilmiştir.

Tablo 3

HUANG-EPD yöntemi ile Lena resminin saydamlık ve dayanıklılık değerleri

	SAYDAMLIK (SSIM)	ATAKLARA KARŞI DAYANIKLILIK (CORR)			
		BL	JS	TB	YÖ
$a_1=0.0030, a_2=0.010$	0,9994	0,2118	0,4567	0,1906	0,6898
$a_1=0.0040, a_2=0.010$	0,9990	0,2803	0,5856	0,2672	0,7877

$a_1=0.0050,$ $a_2=0.010$	0,9986	0,3504	0,6696	0,3314	0,8466
$a_1=0.0080,$ $a_2=0.011$	0,9967	0,5115	0,8080	0,4871	0,9110
$a_1=0.0020,$ $a_2=0.015$	0,9997	0,1309	0,2994	0,1304	0,4577
$a_1=0.0060,$ $a_2=0.015$	0,9980	0,4217	0,7331	0,4027	0,8645
$a_1=0.0060,$ $a_2=0.016$	0,9980	0,4204	0,7314	0,3966	0,8597
$a_1=0.0085,$ $a_2=0.020$	0,9961	0,5468	0,8158	0,5250	0,8942
$a_1=0.010,$ $a_2=0.020$	0,9951	0,5993	0,8487	0,5680	0,9248

HUANG-EPD yöntemi ile Lena resminin damgalanması sonucu elde edilen saydamlık ve dayanıklılık değerleri Tablo 3’de verilmiştir. $a_1=0.010$, $a_2=0.020$ değerinde $SSIM \geq 0.995$ elde edilmiş ve bu durumda BL ve TB ataklarında 0.56’nın üzerinde bir dayanıklılık değeri elde edilirken, JS ve YÖ için 0.84’ün üzerinde dayanıklılık değerleri elde edilmiştir.

Tablo 4

ÇOKLU-ADAPTİF yöntemi ile Lena resminin saydamlık ve dayanıklılık değerleri

	SAYDAMLIK (SSIM)	ATAKLARA KARŞI DAYANIKLILIK (CORR)			
		BL	JS	TB	YÖ
$a_{min}=0.003,$ $a_{max}=0.010$	0,9989	0,3160	0,6358	0,2908	0,8384
$a_{min}=0.004,$ $a_{max}=0.010$	0,9985	0,3718	0,7038	0,3553	0,8730
$a_{min}=0.005,$ $a_{max}=0.010$	0,9979	0,4248	0,7498	0,4018	0,8932
$a_{min}=0.006,$ $a_{max}=0.020$	0,9975	0,4854	0,7917	0,4596	0,9003
$a_{min}=0.006,$ $a_{max}=0.030$	0,9971	0,5317	0,8059	0,5016	0,8914
$a_{min}=0.007,$ $a_{max}=0.030$	0,9964	0,5633	0,8307	0,5422	0,9050
$a_{min}=0.008,$ $a_{max}=0.030$	0,9957	0,5974	0,8486	0,5727	0,9168
$a_{min}=0.008,$ $a_{max}=0.040$	0,9950	0,6281	0,8519	0,6118	0,9254
$a_{min}=0.009,$ $a_{max}=0.040$	0,9941	0,6566	0,8673	0,6306	0,9146





Şekil 8. Damgalanmış görüntülere çeşitli saldırıların uygulanması

Önerilen ÇOKLU-ADAPTİF yöntemi ile Lena resminin damgalanması sonucu elde edilen saydamlık ve dayanıklılık değerleri Tablo 4'de verilmiştir. $a_{min}=0.008$, $a_{max}=0.040$ değerinde $SSIM \geq 0.995$ elde edilmiş ve bu durumda BL ve TB ataklarında 0.61'in üzerinde bir dayanıklılık değeri elde edilirken, JS ve YÖ için 0.85'in üzerinde dayanıklılık değerleri elde edilmiştir.

Tablo 5

Saydamlık kriteri $SSIM \geq 0.995$ için seçilen parametre değerleri

	DC-AKD	HUANG-EPD	ÇOKLU-ADAPTİF
LENA	$a=0.0100$	$a_1=0.010$, $a_2=0.020$	$a_{min}=0.008$, $a_{max}=0.040$
KAMERAMAN	$a=0.0085$	$a_1=0.0085$, $a_2=0.020$	$a_{min}=0.007$, $a_{max}=0.030$
SAAT	$a=0.0050$	$a_1=0.0050$, $a_2=0.010$	$a_{min}=0.004$, $a_{max}=0.010$
EV	$a=0.0075$	$a_1=0.0080$, $a_2=0.011$	$a_{min}=0.006$, $a_{max}=0.020$

Yöntemleri birbirleri ile adil bir şekilde karşılaştırabilmek adına tüm yöntemler ve tüm test görüntüleri için SSIM saydamlık değerlerinin 0.995'ten büyük veya eşit olduğu a ölçekleme faktörleri deneysel olarak belirlenmiştir. Tablo 5'te saydamlık değeri $SSIM \geq 0.995$ için seçilen parametre değerleri verilmiştir.

Lena, Kameraman, Saat ve Ev görüntüleri için benzerlik oranı $SSIM \geq 0.9950$ için sabit olmak kaydıyla Tablo 5'de belirlenen her bir yöntem için en iyi a ölçekleme parametre değerleri ile damgalama işlemleri gerçekleştirilmiş ve 4 farklı atak uygulanarak damgalar çıkartılmıştır. Çıkarılan damgaların orijinal damgalara benzerlik oranlarını belirten diğer bir ifadeyle dayanıklılık göstergesi olan CORR değerleri Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6'da görüldüğü gibi önerilen ÇOKLU-ADAPTİF damgalama tekniği, tüm saldırılara karşı HUANG-EPD ve DC-AKD damgalama tekniğine göre dayanıklılık açısından daha iyi sonuçlar vermektedir. HUANG-EPD yöntemi ise, DC-AKD yöntemine göre genel olarak daha dayanıklı damgalama gerçekleştirmiştir. Fakat bazı durumlarda ölçekleme saldırısı karşısında DC-AKD damgalama tekniği, HUANG-EPD yöntemine göre daha iyi sonuç vermiştir.

Tablo 6

Test görüntülerinin saydamlık değeri $SSIM \geq 0.9950$ için çeşitli ataklara karşı CORR dayanıklılık sonuçları

DC-AKD		BL	JS	TB	YÖ
	LENA	0,5893	0,8477	0,5577	0,9233
KAMERAMAN	0,4452	0,7657	0,4445	0,8536	
SAAT	0,3635	0,7963	0,4169	0,9125	
EV	0,3173	0,7006	0,3534	0,8748	
HUANG-EPD		BL	JS	TB	YÖ
	LENA	0,5993	0,8487	0,5680	0,9248
KAMERAMAN	0,4734	0,7732	0,4802	0,8430	
SAAT	0,3882	0,8083	0,4321	0,9175	
EV	0,4819	0,8335	0,5233	0,9218	
ÇOKLU-ADAPTİF		BL	JS	TB	YÖ
	LENA	0,6281	0,8519	0,6118	0,9254
KAMERAMAN	0,5196	0,7971	0,5188	0,8569	
SAAT	0,4074	0,8290	0,4580	0,9312	
EV	0,5104	0,8443	0,5512	0,9240	

5. Tartışma ve Sonuç

HUANG-EPD yönteminde iki adet ölçekleme faktörü kullanılmıştır. Doku içeren bloklar için sayısal olarak büyük olan ölçekleme faktörü, doku içermeyen bloklar için küçük olan ölçekleme faktörü seçilmiştir. DC-AKD yönteminde sadece bir ölçekleme faktörü kullanılmıştır. ÇOKLU-ADAPTİF yönteminde ise görüntüdeki tüm bloklar için, içerdikleri doku miktarıyla orantılı olacak şekilde ölçekleme faktörleri belirlenmiş ve damgalamada kullanılmıştır.

Çalışma kapsamında ele alınan yöntemler 4 test görüntüsü kullanılarak test edilmiştir. Bu görüntüler 256x256 boyutlarında gri tonlamalı literatürde en sık kullanılan test görüntüleri arasından seçilmiştir. Tüm yöntemler için elde edilen sonuçlar sayısal olarak değerlendirilmiştir. Tüm görüntüler için elde edilen damgaya ait dayanıklılık sonuçları CORR ile, damgalanan görüntülerin orijinal görüntüye ne kadar benzediğini ait saydamlık sonuçları ise SSIM metrikleri ile elde edilmiş ve tablolarda verilmiştir.

Dayanıklı damgalamada bir yandan saydamlık kabul edilebilir en iyi seviyede tutulurken diğer taraftan da dayanıklılığın mümkün olan en üst düzeyde olması beklenmektedir.

Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde; önerilen ÇOKLU-ADAPTİF sayısal damgalama yönteminin HUANG-EPD ve DC-AKD yöntemlerine göre dayanıklı damgalama performansının daha yüksek olduğu görülmüştür. İleriki çalışmalarda saydamlığı ve dayanıklılığı maksimize edecek optimizasyon tekniklerinden faydalanabilir.

Teşekkür

Bu çalışma; Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından FYL-2015-5826 kodlu proje ile desteklenmiştir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Rifat KURBAN, araştırma probleminin belirlenmesi, çalışmanın özgün değerlerinin ortaya konulması ve makalenin yazımı; Hakkı BOZPOLAT, bilimsel yayın araştırması, yöntemlerin bilgisayar ortamında kodlanması ve deneysel sonuçların elde edilmesi konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Aslantaş, V., Özer, Ş., Öztürk, S. (2006). Tekil Değer Çıkarma Tabanlı Resim Damgalama Tekniklerinin Karşılaştırılması, Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu ve Fuarı ELECO' 2006, Bursa,Türkiye,312-317.
https://www.emo.org.tr/ekler/b9a80606d74d3da_ek.pdf
- Aslantas, V., (2008). A singular-value decomposition-based image watermarking using genetic algorithm. *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, 62 (5): 386-394.
<https://doi.org/10.1016/j.aeue.2007.02.010>
- Boney, L., Tewfik, A. H., Hamdy, K. N., (1996). Digital watermarks for audio signals, Multimedia Computing and Systems, 1996., *Proceedings of the Third IEEE International Conference on*, 473-480.
<https://doi.org/10.1109/MMCS.1996.535015>
- Chao, S.-C., Huang, H.-M., Chen, C.-Y., (2006). Digital watermarking of color image, *Electronic Imaging*, 605815-605815-12.
<https://doi.org/10.1117/12.642847>
- Chang, C.-C., Chen, T.-S., Chung, L.-Z., (2002). A steganographic method based upon JPEG and quantization table modification. *Information Sciences*, 141 (1): 123-138.
[https://doi.org/10.1016/S0020-0255\(01\)00194-3](https://doi.org/10.1016/S0020-0255(01)00194-3)
- Chen, Y.-Y., (2007). Medical image compression using DCT-based subband decomposition and modified SPIHT data organization. *International journal of medical informatics*, 76 (10), 717-725.
<https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2006.07.002>
- Gordy, J., Bruton, L., (2000). Performance evaluation of digital audio watermarking algorithms, *Proceedings Of The IEEE Midwest Symposium On Circuits And Systems*,456-461.
<https://doi.org/10.1109/MWSCAS.2000.951682>
- Hartung, F. H., Girod, B., (1996). Digital watermarking of raw and compressed video, *Advanced Imaging and Network Technologies*, 205-213.
<https://doi.org/10.1117/12.251278>
- Hsu, C.-T., Wu, J.-L., (1998). Multiresolution watermarking for digital images. *Circuits and Systems II: Analog and Digital Signal Processing, IEEE Transactions on*, 45 (8): 1097-1101.
<https://doi.org/10.1109/82.718818>
- Huang, J., Shi, Y.Q., Shi, Y., (2000). Embedding image watermarks in dc components. *Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions on*, 10 (6): 974-979. <https://doi.org/10.1109/76.867936>

- Jadhav, A., Kolhekar, M.,(2014). Digital Watermarking in Video for Copyright Protection, *Electronic Systems, Signal Processing and Computing Technologies (ICESC), 2014 International Conference on*,pp. 140-144. <https://doi.org/10.1109/ICESC.2014.29>
- Jalil, Z., Mirza, A. M.(2009). A review of digital watermarking techniques for text documents, Information and Multimedia Technology. *ICIMT'09. International Conference on*, 230-234. <https://doi.org/10.1109/ICIMT.2009.11>
- Jiansheng, M., Sukang, L., Xiaomei, T.,(2009). A digital watermarking algorithm based on DCT and DWT, *Proceedings of the 2009 International Symposium on Web Information Systems and Applications*, 104-107. <https://doi.org/10.1.1.402.5693>
- Kankanhalli, M. S., Hau, K., (2002). Watermarking of electronic text documents. *Electronic Commerce Research*, 2 (1-2): 169-187. <https://doi.org/10.1023/A:1013312707578>
- Kong, X., Feng, R., (2001). Watermarking medical signals for telemedicine. *Information Technology in Biomedicine, IEEE Transactions on*, 5 (3),195-201. <https://doi.org/10.1109/4233.945290>
- Koch, E., Zhao, J.,(1995). Towards robust and hidden image copyright labeling, *IEEE Workshop on Nonlinear Signal and Image Processing*, 452-455. <https://doi.org/10.1.1.49.2067>
- Langelaar, G. C., Setyawan, I., Lagendijk, R. L., (2000). Watermarking digital image and video data. A state-of-the-art overview. *IEEE Signal Processing Magazine*,17(5), <https://doi.org/10.1109/79.879337>
- Lee, S.-J., Jung, S.-H., (2001). A survey of watermarking techniques applied to multimedia, *Industrial Electronics, Proceedings. ISIE 2001. IEEE International Symposium on*, 272-277. <https://doi.org/10.1109/ISIE.2001.931796>
- Lu, H., Shen, R., Chung, F.-L., (2003). Fragile watermarking scheme for image authentication. *Electronics Letters*, 39 (12),898-900. <https://doi.org/10.1109/ICGEC.2010.163>
- O'Ruanaidh, J., Pun, T.,(1997).Rotation, translation and scale invariant digital image watermarking, *Image Processing, International Conference on*,536-536. <https://doi.org/10.5555/839285.841638>
- Öztürk, S., (2009). Kırılğan ve Dayanıklı Resim Damgalama Tekniklerinin Başarımının Zeki Optimizasyon Yöntemleri ile Arttırılması. *Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ab. D., Doktora Tezi.* <https://acikbilim.yok.gov.tr/handle/20.500.12812/500089>
- Pan, J.-S., Huang, H.-C., Jain, L. C., (2004). Intelligent watermarking techniques. *World scientific.* <https://doi.org/10.1142/5471>
- Pan, Z., Bolouri, H., (1999). High speed face recognition based on discrete cosine transforms and neural networks. https://www.researchgate.net/publication/2590977_High_Speed_Face_Recognition_Based_on_Discrete_Cosine_Transforms_and_Neural_Networks
- Qadir, M. A., Ahmad, I., (2005). Digital text watermarking: secure content delivery and data hiding in digital documents,*Security Technology, 2005. CCST 05. 39th Annual 2005 International Carnahan Conference on*, 101-104. <https://doi.org/10.1109/MAES.2006.284353>
- Shieh, C.-S., Huang, H.-C., Wang, F.-H., Pan, J.-S., (2004). Genetic watermarking based on transform-domain techniques. *Pattern recognition*, 37 (3), 555-565. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2003.07.003>
- Swanson, M. D., Zhu, B., Tewfik, A. H., Boney, L., (1998). Robust audio watermarking using perceptual masking. *Signal processing*, 66 (3): 337-355. [https://doi.org/10.1016/S0165-1684\(98\)00014-0](https://doi.org/10.1016/S0165-1684(98)00014-0)
- Tefas, A., Nikolaidis, N., Pitas, I.,(2009). Chapter 22 - Image Watermarking: Techniques and Applications, in *The Essential Guide to Image Processing (Second Edition)*, Bovik, A., Ed., ed Boston: Academic Press, 597-648. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374457-9.00022-6>
- Wang, Q., Sun, S., (2000). DCT-based image-independent digital watermarking, *Signal Processing Proceedings, WCCC-ICSP 5th International Conference on*, 942-945. <https://doi.org/10.1109/ICOSP.2000.891677>
- Wolfgang, R. B., Delp, E. J.,(1996). A watermark for digital images, *Image Processing, Proceedings, International Conference on*, 219-222. <https://doi.org/10.1109/ICIP.1996.560423>
- Yu, Y.-H., Chang, C.-C., Hu, Y.-C., (2005). Hiding secret data in images via predictive coding. *Pattern Recognition*, 38 (5): 691-705. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2004.11.006>
- Yu-Ting, P., (2006). Low power block-based watermarking algorithm. *IEICE transactions on information and systems*, 89 (4): 1507-1514. <https://doi.org/10.1093/ietisy/e89-d.4.1507>