

Çoklu Görüntü Damgalama Yönteminde Farklı Frekans Bölgelerinin Değerlendirilmesi

Ahmed Khaleel ABDULRAHMAN, Serkan ÖZTÜRK

Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye

ahmedkhaleel.ahkh@gmail.com, serkan@erciyes.edu.tr

(Geliş/Received:19.09.2017; Kabul/Accepted:14.01.2018)

DOI: 10.17671/gazibtd.338753

Özet— Son yıllarda internet ve mobil teknolojilerin gelişmesi ile birlikte, çoklu-ortam dokümanlarının telif hakkının korunması önem kazanmıştır. Sayısal görüntü ve video gibi çoklu-ortam dokümanlarının korunmasında sayısal damgalama en çok kullanılan yöntem olmuştur. Bu çalışmada, Ayrık Kosinüs Dönüşümü, Ayrık Dalgacık Dönüşümü (ADD) ve Arnold Dönüşümü kullanılarak gri-seviyeli görüntü damgalama yöntemi önerilmiştir. Bu damgalama yönteminde eklenecek damgalar dört eşit parçalara ayrılmıştır. Saldırlara karşı damgalama yönteminin dayanıklılığını artırmak için bu parçaların her biri damga eklenecek görüntülerin ADD işlemi sonucunda elde edilen dört ayrı bantlarının farklı alt bölgelerine gizlenmiştir. ADD frekans uzayında farklı alt bölgelere damga ekleme işleminde önerilen gri-seviyeli damgalama yönteminin başarımlı damgalanmış görüntülere doğrusal ve doğrusal olmayan saldırılar uygulanarak değerlendirilmiştir. Bu çalışmada ayrıca önerilen yöntem ile temel alçak frekans bandına damga ekleme yöntemi karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlar önerilen yöntemin saldırılara karşı dayanıklı olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte damgalanmış görüntülerin kalitelerinin korunduğu da görülmüştür.

Anahtar Kelimeler— Görüntü damgalama, Ayrık Dalgacık Dönüşümü, Ayrık Kosinüs Dönüşümü, Frekans Bölgeleri

Evaluation of Different Frequency Regions in Multiple Image Watermarking Method

Abstract— Due to the development of the internet and mobile technologies in recent years, the protection of the copyright of multimedia documents has become importance. Digital watermarking is the most widely used method for protecting multimedia documents such as digital image and video. In this study, gray-level image watermarking method is proposed using Discrete Cosine Transform, Discrete Wavelet Transform (DWT) and Arnold Transform. In this watermarking method, the watermarks to be embedded are segmented into four equal-sized parts. In order to increase the robustness of watermarking method against the attacks, each one of these parts have been embedded inside different sub-regions of the four separate bands that have been obtained as a result of DWT processing of the cover images. The performance of the proposed gray-level watermarking method for embedding watermarks in different sub regions in DWT frequency domain has been evaluated by applying linear and nonlinear attacks to the watermarked images. Also, in this study the proposed method is compared with the basic low frequency band watermarking method. Experimental results have shown that the proposed method is robust to the attacks. It is also observed that the quality of the watermarked images has been preserved.

Keywords— Image watermarking, Discrete Wavelength Transform, Discrete Cosine Transform, Frequency Regions

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Çoklu-ortam verilerinin kullanımı ve dağılımı internet ve mobil teknolojilerinin gelişmeleri ile birlikte yaygınlaşmıştır. Sayısal görüntü, video, ses ve metinlerden oluşan bu veriler kolaylıkla kopyalanabilmekte ve değiştirilebilmektedir. Bu nedenle bu verilerin telif haklarının korunması önem kazanmıştır. Sayısal damgalama telif hakkının korunmasını sağlamak amacıyla

ortaya çıkmıştır ve en çok kullanılan yöntemlerden biri olmuştur. Bununla birlikte, sayısal damgalama veri doğruluğunun ispatı, veri sahiplerinin izlenmesi, kopya koruma ve cihaz kontrolü, yayın takibi ve arşivleme gibi uygulama alanlarında da kullanılmaktadır [1,2]. Bir sayısal verinin (görüntü, ses, metin) damga olarak başka bir sayısal verinin içine gizlenmesi ve sonra gizlenen bilginin çıkarılması işlemi sayısal damgalama olarak tanımlanabilir [3].

Görünür ve görünmez olarak iki sınıfa ayrılan sayısal görüntü damgalama en çok kullanılan damgalama tekniğidir. Logo ve tescil etiketleri şeklinde olan görünür damgalar görüntünün köşesine eklenir. Görünmez damgalar ise görüntü içerisine insan görme sistemince algılanamayacak bir şekilde gizlenen ve çeşitli saldırılara karşı dayanıklı olması beklenen damgalardır [4]. Görünmez görüntü damgalama yöntemlerinin uygulamanın gereksinimlerine bağlı olarak saydamlık, dayanıklılık, yüksek kapasite, hesaplama maliyeti ve güvenlik gibi sahip olması gereken temel özellikler vardır [2,5]. Sayısal damga orijinal görüntünün kalitesini etkilemeyecek şekilde içeriğe gizlenmelidir. Damgalanmış görüntü kasıtlı veya kasıtlı olmayan çeşitli saldırılara maruz kaldığında damga halen algılanabilir olmalıdır. Damgalama yöntemleri, mümkün olduğunca yüksek miktarda verinin damga olarak bir görüntünün içerisine eklenebilmesini sağlayabilmelidir [6]. Telif hakkının korunmasında, damgalama yönteminin yüksek hesaplama karmaşıklığına sahip olması gerekmektedir. Damgalama yöntemlerinin yetkisiz kişiler tarafından öğrenilmesine karşı önlemler alınmış olmalıdır.

Görüntü damgalama teknikleri genel olarak görüntü uzayı teknikleri, frekans uzayı teknikleri, vektör kuantalama tabanlı teknikler ve tekil değer ayrışımı tabanlı teknikler olarak sınıflandırılabilir [6]. Görüntü uzayı tekniklerinde damga ekleme işlemleri görüntünün gri-seviye piksel değerleri değiştirilerek gerçekleştirilir [7-9]. Ayrık Fourier Dönüşümü [10-12], Ayrık Kosinüs Dönüşümü (AKD) [13-16] ve Ayrık Dalgacık Dönüşümü (ADD) [17-19] gibi frekans uzayı damgalama tekniklerinde dönüşüm katsayıları değiştirilerek damga ekleme işlemleri gerçekleştirilir. Vektör kuantalama tabanlı tekniklerde, damga vektör kuantalama yöntemleriyle sıkıştırılarak vektör kuantalama uzayında orijinal görüntüye eklenebilir [20-22]. Tekil değer ayrışımı tabanlı tekniklerde ise damga ekleme işlemi orijinal görüntünün köşegen matrisi kullanılarak gerçekleştirilir [23-25].

Daha önceki çalışmamızda [26] önerdiğimiz sabit frekans bölgelerine damga ekleme yöntemi, bu makalede farklı frekans bölgeleri değerlendirilerek geliştirilmiştir. Geliştirilen damgalama yönteminde eklenecek damgalar dört eşit parçalara ayrılmıştır. Saldırlara karşı damgalama yönteminin dayanıklılığını artırmak için bu parçaların her biri damga eklenecek görüntülerin ADD işlemi sonucunda elde edilen dört ayrı bantlarının farklı alt bölgelerine gizlenmiştir. Ayrıca ADD uzayında dağıtık bölgeler, dış köşe bölgeler, iç köşe bölgeler, merkez bölgeler ve üst-sol köşe bölgeler gibi farklı bölgelere damga ekleme işleminde önerilen gri-seviyeli damgalama yönteminin başarımı bu çalışmada ilk defa değerlendirilmiştir. Damgalanmış görüntülere keskinleştirme, bulanıklaştırma, ortalama filtreleme, ölçekleme, sıkıştırma ve gürültü ekleme saldırıları uygulanmıştır. Orijinal görüntü ile damgalanmış görüntü arasındaki korelasyon değerini belirlemek için işaret gürültü oranı (PSNR) ve orijinal damga ile çıkarılan damga için ise normleştirilmiş korelasyon (NC) değerleri kullanılmıştır. Bu çalışmada önerilen yöntem ile temel

alçak frekans (LL) bandına damga ekleme yöntemi ayrıca karşılaştırılmıştır.

Makalenin devamının organizasyonu şu şekildedir; 2. bölümde benzer konularda yapılmış literatür özeti verilmiştir. 3. bölümde farklı bölgeler için önerilen damga ekleme ve damga çıkarma yöntemleri anlatılmıştır. 4. bölümde deneysel çalışmalar gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar ve değerlendirmeler ise 5. bölümde verilmiştir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ (LİTERATURE REVIEW)

Son yıllarda AKD ve ADD tabanlı sayısal damgalama yöntemlerinin geliştirilmesi için çalışmalar yapılmıştır. Tewari ve Saxena, JPEG sıkıştırma saldırılarına karşı dayanıklı AKD tabanlı bir görüntü damgalama yöntemi önermişlerdir [27]. Orijinal görüntü düşük frekans ve yüksek frekans değerlerine sahip iki alt parçaya ayrılmıştır. Bu yöntemde düşük frekans değerlerine sahip orijinal görüntü parçasına blok tabanlı AKD uygulanmıştır. Damga bilgileri AKD bloğundaki orta frekans bandına eklenmiştir. Das ve arkadaşları AKD uzayındaki bitişik blokların aynı konumlarındaki AKD katsayılarının korelasyonunu kullanarak bir damgalama algoritması sunmuşlardır [28]. Blok tabanlı bu algoritmada her bir bloğun tek bir AKD katsayısı değiştirilerek damga ekleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Ram ise AKD ve ADD tabanlı iki farklı damgalama yöntemleri önermiştir [29]. Blok tabanlı AKD yönteminde gerçek sayıların rasgele dizilerden oluşan damgayı her bir bloğun alçak bandındaki belirli katsayılarla eklemiştir. ADD tabanlı yöntemde ise 2. ve 3. seviye ADD sonucu elde edilen belirli alt bantlara damga eklemiştir. Chamlawi ve arkadaşları ADD uzayında iki farklı damganın eklenmesine yönelik yarı kırılğan bir damgalama yöntemi gerçekleştirmişlerdir [30]. İki seviyeli birinci damga 1. seviye ADD uzayının temel alçak frekans (LL) bandına eklenmiştir. Orijinal görüntünün sıkıştırılmış hali olan ikinci damga ise 2. seviye ADD uzayının orta frekans bantlarına eklenmiştir. Yuxi ve Yanmin ADD tabanlı görüntü damgalama tekniği önermişlerdir [31]. Bu çalışmada Arnold dönüşümü sonucu elde edilen damga orijinal görüntünün 3. seviye ADD uzayına eklenmiştir. Düşük frekans değerlerine sahip damga bilgileri LL bandına, yüksek frekans değerlerine sahip damga bilgileri ise köşegensel yüksek frekans (HH) bandına eklenmiştir. Ahmad ve arkadaşları telif hakkının korunması için ADD tabanlı dayanıklı görüntü damgalama yöntemi sunmuşlardır [32]. Bu yöntemde spiral tarama kullanılarak oluşturulan damga 3. seviye ADD uzayının LL bantlarına eklenmiştir. Pithiya ve Desai, ADD tabanlı renkli sayısal resim damgalama algoritması önermişlerdir [33]. Bu yöntemde renkli resim YCbCr uzayına dönüştürülerek Y katmanında damga ekleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Chaturvedi ve Hemrajani ise AKD tabanlı renkli resim damgalama yöntemi sunmuşlardır [34]. Bu çalışmalarında damga dayanıklılığını sağlamak amacıyla AKD uzayında orta frekans bandı kullanmışlardır.

Literatürde ayrıca sayısal damgalama üzerinde frekans uzayı yöntemleri birlikte kullanılarak melez algoritmalar da geliştirilmiştir. Akter ve arkadaşları ADD ve AKD tabanlı

melez sayısal damgalama yöntemi önermişlerdir [35]. Damga ekleme işlemini 4. seviye ADD sonucu elde edilen orta frekandaki LL alt bantlarına AKD uygulayarak gerçekleştirmişlerdir. Bununla birlikte, 2. ve 3. seviye ADD-AKD yöntemlerini kullanarak farklı boyutlardaki damgaları orijinal görüntüye eklemişlerdir. Benzer bir çalışma Bireki ve arkadaşları tarafından yapılmıştır [36]. Damga ekleme işlemini 3. seviye ADD sonucu elde edilen orta frekans katsayılarına AKD uygulayarak gerçekleştirmişlerdir. Damganın güvenliğini sağlamak için Arnold dönüşümü de kullanmışlardır. Kaur ve arkadaşları ADD ile tekil değer ayrışım (TDA) tekniğini birlikte kullanarak görüntü damgalama yöntemi önermişlerdir [37]. Damga ekleme işlemini 2. seviye ADD uzayında gerçekleştirmişlerdir. Rahman ve arkadaşları AKD ve TDA tabanlı yarı-denetimli damgalama yöntemi gerçekleştirmişlerdir [38]. Bu yöntemde AKD ve TDA uygulanmış orijinal görüntü zig-zag tarama işlemi kullanılarak biçimlendirilmiştir. Biçimlendirilmiş görüntünün tekil değerleri değiştirilerek damga ekleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Run ve arkadaşları TDA-AKD ve TDA-ADD tabanlı iki farklı damgalama yöntemleri sunmuşlardır [39]. Damgalama yöntemlerinde kullanılan ölçekleme faktörlerinin uygun olarak belirlenebilmesi için Parçacık Sürü Optimizasyon algoritması kullanmışlardır. Amiri ve Moghaddam çoklu görüntüler için görsel şifreleme tabanlı damgalama yöntemi önermişlerdir [40]. Bu yöntemde orijinal görüntü değiştirilmeden damga ekleme işlemi gerçekleştirilmiştir. ADD, TDA ve ölçekten bağımsız özellik dönüşümü kullanılarak orijinal görüntünün özelliği çıkarılmıştır. Bu yöntem ile orijinal görüntüden çıkarılan özellik, gizli anahtar ve damga birlikte kullanılarak gizli bir paylaşım oluşturulmuştur. Tiwari ve arkadaşları ADD, Hızlı Fourier Dönüşümü ve TDA işlemlerini birlikte kullanarak melez sayısal damgalama yöntemi sunmuşlardır [41]. Bu yöntemde önce orijinal görüntüye 3. seviye ADD işlemi uygulanmıştır. Daha sonra elde edilen LL frekans bandına Hızlı Fourier Dönüşümü ve ardından TDA uygulanarak damga ekleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Singh ve arkadaşları ADD, AKD ve TDA tabanlı melez sayısal damgalama yöntemi önermişlerdir [42]. Damga ekleme işleminde önce orijinal görüntüye 1. seviye ADD işlemi uygulanmıştır. Elde edilen LL frekans katsayılarına AKD ve TDA birlikte uygulanarak damga ekleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Benzer bir çalışma Zhang ve arkadaşları tarafından yapılmıştır [43]. Damga ekleme işleminde önce orijinal görüntüye 1. seviye ADD işlemi uygulanmıştır. Sonra elde edilen LL frekans bandı bloklara ayrılarak çok seviyeli AKD uygulanmıştır. Daha sonra TDA kullanılarak damga ekleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada Arnold dönüşümü de damganın güvenliğini sağlamak için kullanılmıştır. Ayrıca, Sheth ve Nath AKD ve ADD işlemlerini birlikte kullanarak frekans uzayında güvenilir bir görüntü damgalama tekniği önermişlerdir [44]. AKD sonucu elde edilen katsayıları ADD uygulayarak damga ekleme işlemini gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmalarında damga ekleme için ADD uzayında LL bandını kullanmışlardır. Ayrıca damganın güvenliğini sağlamak için Arnold dönüşümü de uygulamışlardır. Budiman vd., ADD ve AKD tabanlı renkli resim damgalama tekniği sunmuşlardır [45]. Damgalama yönteminde RGB, YCbCr

ve NTSC olmak üzere üç ayrı renk sistemini kullanılmışlardır. Bu çalışmalarında Genetik algoritma kullanarak önerdikleri yöntemde iyileştirme sağlamışlardır. Vaidya ve PVSSR, ADD ve TDA kullanarak renkli resim damgalama yöntemi önermişlerdir [46]. Telif haklarını korumak için çoklu ayrıştırma yöntemine dayalı damgalama gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında Arnold dönüşümü kullanarak gri seviye damgaları renkli resimlere gizlemişlerdir. Benzer bir çalışma Bajracharya ve Koju tarafından sunulmuştur [47]. Bu yöntemde renkli resim YCbCr uzayına dönüştürülerek damga ekleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Koju ve Joshi, renkli resimler için ADD ve TDA tabanlı yarı-denetimli damgalama yöntemi önermişlerdir [48]. Bu çalışmalarında damga resme Slant dönüşümü uygulamışlardır. Orijinal resmin yüksek frekans ve alçak frekans bileşenlerinin tekil değerleri Slant dönüşüm değerleri ile değiştirilerek damgalama işlemi gerçekleştirilmiştir.

AKD ve ADD tabanlı yapılmış çalışmalar damga eklemek için genellikle ADD uzayında tek bir frekans bandını kullanmışlardır. Bu çalışmamızda önerdiğimiz damgalama yönteminde ADD uzayında dört farklı frekans bandı damga eklemek için kullanılmıştır. Damga dört eşit parçalara ayrılmıştır. Bu parçaların her biri damga eklenecek görüntülerin AKD sonucu elde edilen katsayılarına ADD uygulanarak elde edilen dört ayrı bantlarının farklı alt bölgelerine gizlenmiştir. Farklı alt bölgelere damga ekleme işlemi bilgimiz dâhilinde ilk defa yapılmıştır.

3.ÖNERİLEN YÖNTEM (PROPOSED METHOD)

Daha önceki çalışmamızda [26] önerdiğimiz AKD, ADD ve Arnold dönüşümü tabanlı gri-seviyeli görüntü damga ekleme ve damga çıkarma yöntemleri, bu makalede farklı frekans bölgeleri değerlendirilerek geliştirilmiştir. Bu çalışmada, ADD uzayında dağıtık bölgeler, dış köşe bölgeler, iç köşe bölgeler, merkez bölgeler ve üst-sol köşe bölgeler gibi farklı bölgelere damgalama işlemi ilk defa önerilmiştir.

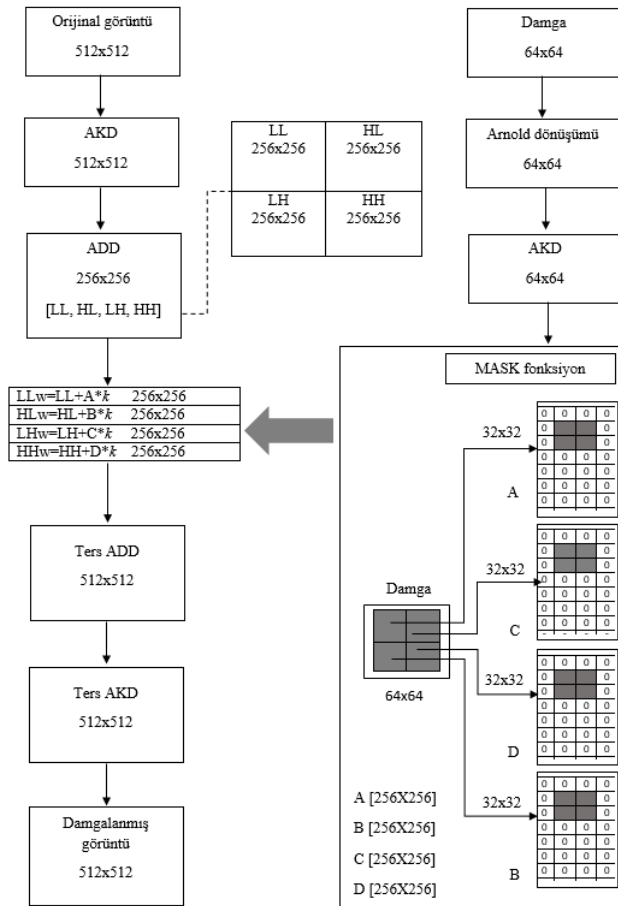
3.1. Damga Ekleme Yöntemi (Watermark Embedding Method)

512x512 boyutlarındaki orijinal görüntüye 64x64 boyutlarındaki iki seviyeli damganın eklenmesinin blok diyagramı Şekil 1'de verilmiştir [26].

Farklı frekans bölgelerinin değerlendirilmesi için geliştirilen gri-seviyeli görüntü damga ekleme yönteminin adımlarını aşağıdaki gibidir:

1. Damganın ekleneceği orijinal görüntüye iki boyutlu AKD [49] uygula [26],
2. AKD katsayılarına Haar dalgacıyı kullanılarak bir seviyeli ADD [50] uygula ve 256x256 boyutlarında LL, yatay orta frekans (HL), düşey orta frekans (LH) ve HH bantlarını elde et [26],

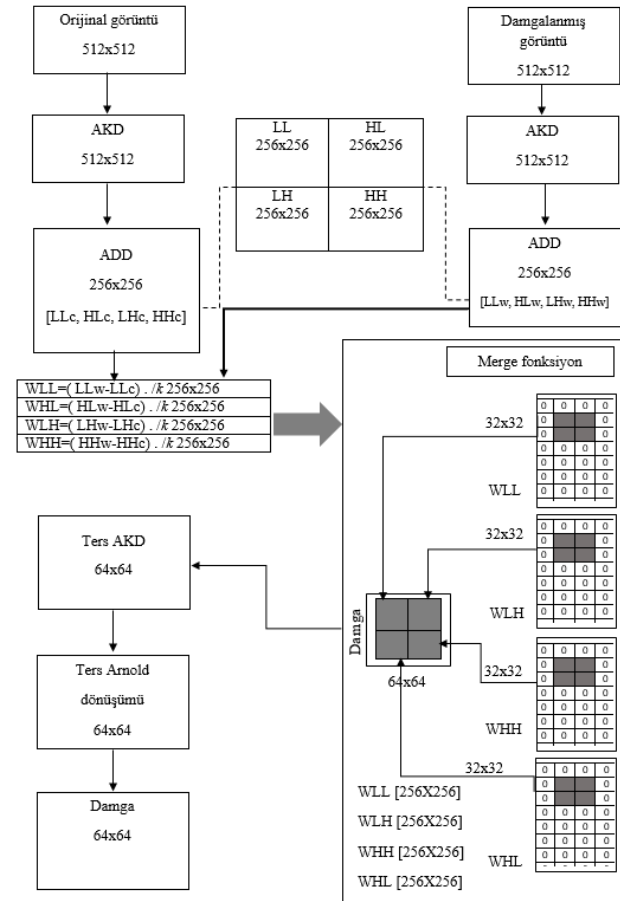
- İki seviyeli damgaya Arnold dönüşümünü [50] uygulayarak damganın piksel pozisyonlarını karıştır [26],
- Karıştırılmış damgaya iki boyutlu AKD uygula [26],
- 64x64 boyutlarındaki AKD uygulanmış damgayı 32x32'lik dört parçaya ayır [26],
- Mask fonksiyonu ile her bir damga parçasını sıfırlardan oluşan 256x256 boyutlarındaki matrislerin içerisine yerleştirerek A, B, C, D damgalarını elde et,
- A, B, C, D damgaları k ölçekleme değeriyle çarparak sırasıyla AKD-ADD uygulanmış orijinal görüntünün LL, LH, HL ve HH bantlarına ekle [26],
- LLw, LHw, HLw ve HHw damga eklenmiş ADD bantlarına ters ADD işlemi uygula [26],
- AKD uzayındaki damgalanmış görüntüye ters AKD uygulayarak 512x512 boyutlarındaki damgalanmış görüntüyü elde et [26].



Şekil 1. Damga ekleme yöntemi (Watermark embedding method)

işleminin blok diyagramı Şekil 2'de gösterilmiştir. Damga çıkarma yönteminin adımlarını aşağıdaki gibidir:

- Damgalanmış görüntüye sırasıyla iki boyutlu AKD ve ADD uygulayarak 256x256 boyutlarında LLw, HLw, LHw ve HHw bantlarını elde et [26],
- Benzer şekilde, orijinal görüntüye AKD ve ADD işlemlerini sırasıyla uygulayarak LLc, HLc, LHc ve HHc bantları elde et [26],
- ADD uzayında damgalanmış görüntünün alt bantlarından orijinal görüntünün alt bantlarını çıkar ve sonra elde edilen değerleri damga ekleme işleminde kullanılan k ölçekleme değerine böl [26],
- 256x256 boyutlarında WLL, WHL, WLH ve WHH bantlarından ilgili bölgelerdeki 32x32'lik parçaları çıkar,
- Merge fonksiyonu kullanarak bu 32x32'lik parçalardan 64x64 boyutlarında AKD uzayında damga oluştur [26],
- Son olarak, bu damgaya sırasıyla ters AKD ve ters Arnold dönüşümü uygulayarak iki seviyeli damga elde et [26].



Şekil 2. Damga çıkarma yöntemi (Watermark extracting method)

3.2. Damga Çıkarma Yöntemi (Watermark Extracting Method)

Farklı frekans bölgeleri değerlendirilerek damgalanmış görüntüden orijinal görüntü kullanılarak damga çıkarma

3.3. Dağıtık Bölgelere Damgalama Yöntemi (DBDY)(Watermarking Method to Distributed Regions)

Önerilen bu yöntemde damgalar 8×8 'lik bloğa 1 damga biti yerleştirilecek şekilde düzenlenmiştir. Şekil 3'de bu yöntemde damganın dağıtılması için kullanılan Mask fonksiyonu, damgaların eklendiği bölgeler ve damganın yeniden oluşturulması için kullanılan Merge fonksiyonu gösterilmiştir. Mask fonksiyonu ile her bir damga biti sıfırlardan oluşan 256×256 boyutlarındaki matrislerin sırasıyla 8×8 'lik bloklarına yerleştirilerek A, B, C, D damgaları elde edilmiştir. Benzer şekilde blok tabanlı Merge fonksiyonu kullanılarak damgalar AKD uzayında çıkarılmıştır.

3.4. Dış Köşe Bölgelere Damgalama Yöntemi (DKBDY) (Watermarking Method to Outer Corner Regions)

Bu yöntemde 32×32 'lik damga parçaları sırasıyla sıfırlardan oluşan 256×256 boyutlarındaki matrislerin sol üst köşesine, sol alt köşesine, sağ üst köşesine ve sağ alt köşesine yerleştirilerek A, B, C, D damgaları elde edilmiştir. Bu yöntem için kullanılan Mask fonksiyonu, damgaların eklendiği bölgeler ve Merge fonksiyonu Şekil 4'de gösterilmiştir.

3.5. İç Köşe Bölgelere Damgalama Yöntemi (İKBDY) (Watermarking Method to Inner Corner Regions)

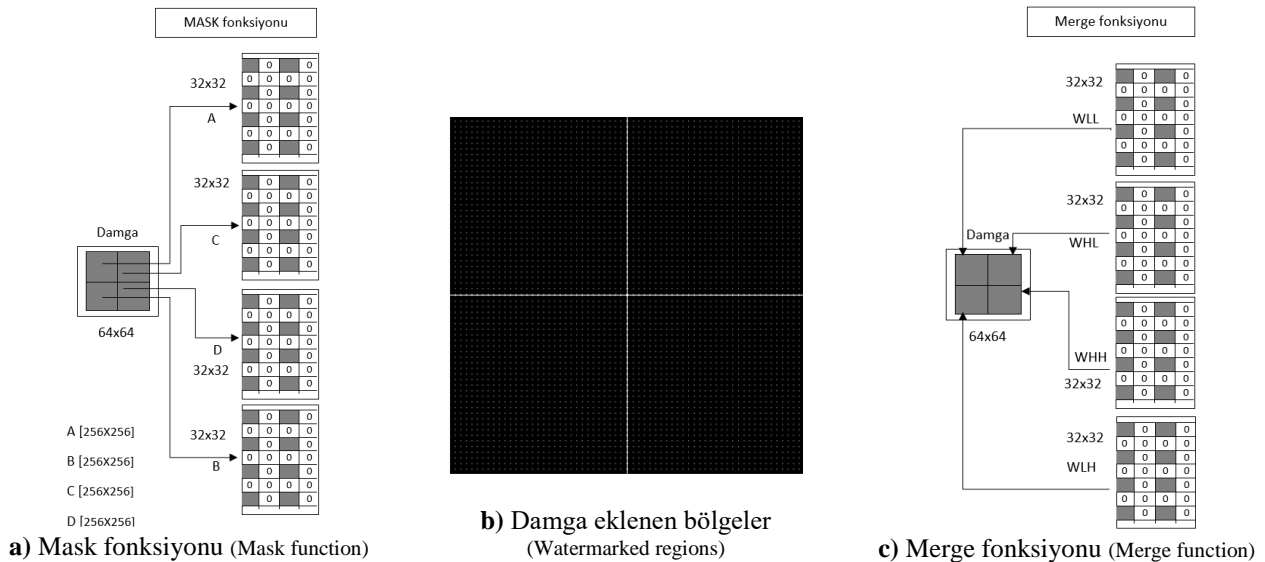
32×32 'lik damga parçaları önerilen bu yöntemde sırasıyla sıfırlardan oluşan 256×256 boyutlarındaki matrislerin sağ alt köşesine, sağ üst köşesine, sol alt köşesine ve sol üst köşesine yerleştirilerek A, B, C, D damgaları elde edilmiştir. Şekil 5'de bu yöntemde kullanılan Mask fonksiyonu, damgaların eklendiği bölgeler ve Merge fonksiyonu gösterilmiştir.

3.6. Merkez Bölgelere Damgalama Yöntemi (MBDY) (Watermarking Method to Central Regions)

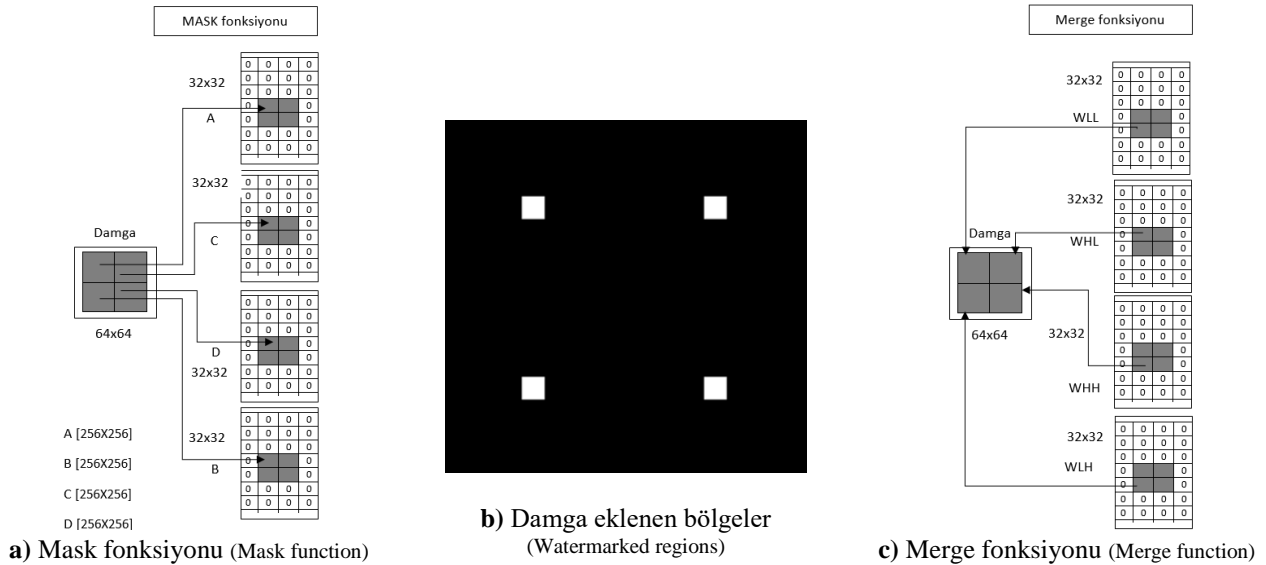
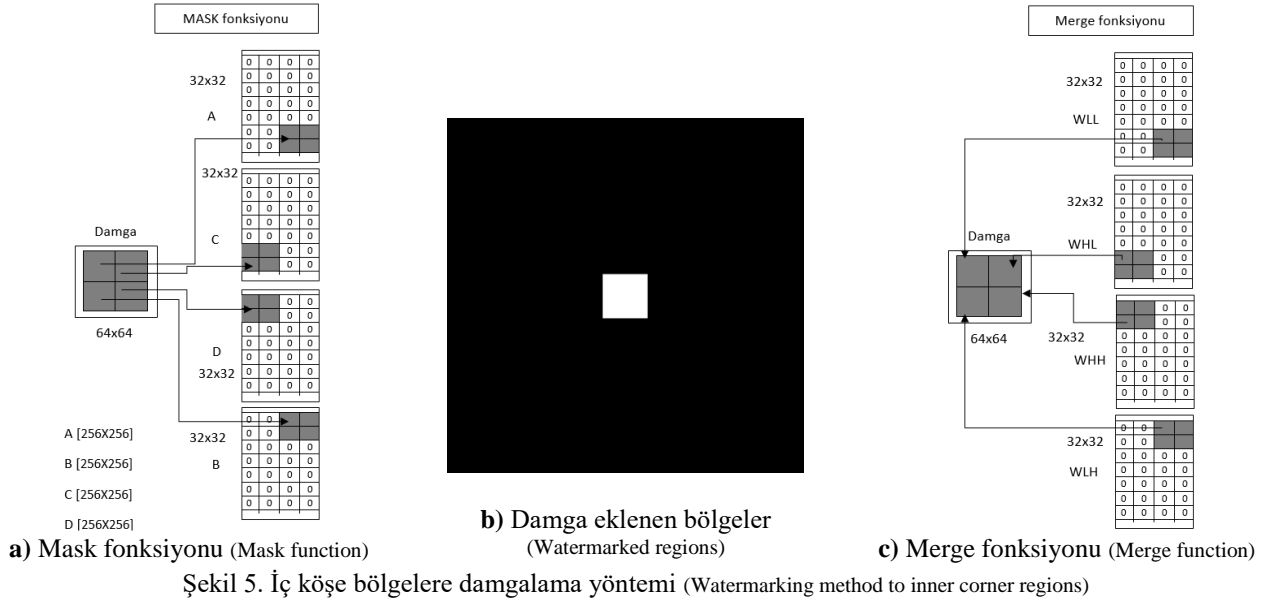
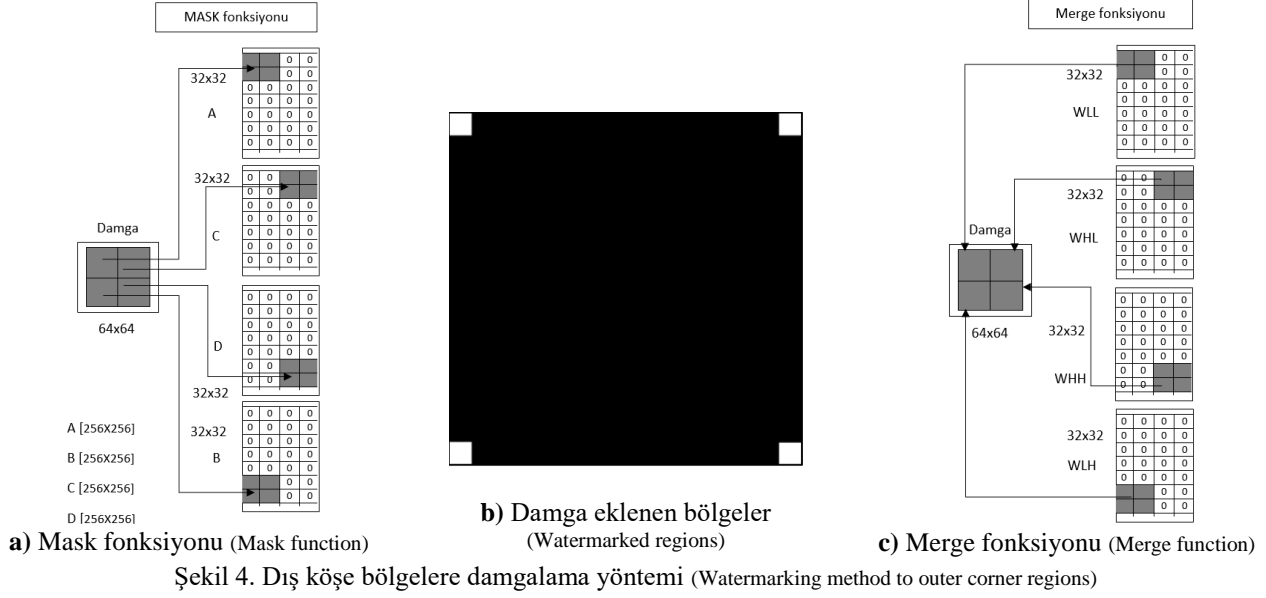
Bu yöntemde 32×32 'lik damga parçaları sıfırlardan oluşan 256×256 boyutlarındaki matrislerin Şekil 6'da gösterildiği gibi merkezine yerleştirilerek A, B, C, D damgaları oluşturulmuştur. Merge fonksiyonu kullanılarak da damgalar AKD uzayında çıkarılmıştır.

3.7. Üst-sol Köşe Bölgelere Damgalama Yöntemi (ÜSKBDY) (Watermarking Method to Upper-left Corner Regions)

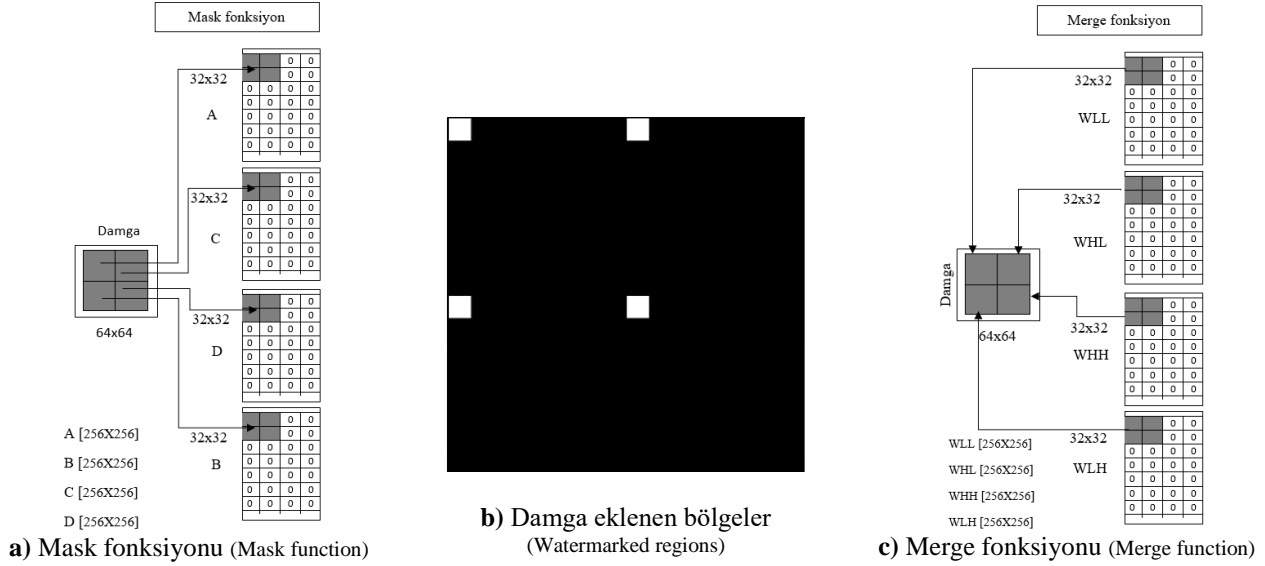
Önerilen bu damgalama yönteminde Şekil 7'de gösterildiği gibi 32×32 'lik damga parçaları sıfırlardan oluşan 256×256 boyutlarındaki matrislerin sol üst köşelerine yerleştirilerek A, B, C, D damgaları oluşturulmuştur [26].



Şekil 3. Dağıtık bölgelere damgalama yöntemi (Watermarking method to distributed regions)



Şekil 6. Merkez bölgelere damgalama yöntemi (Watermarking method to central regions)



Şekil 7. Üst-sol köşe bölgelere damgalama yöntemi (Watermarking method to upper-left corner regions)

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL STUDIES)

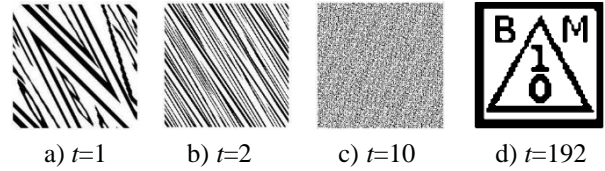
Önerilen yöntemlerin başarımlarını değerlendirmek için Şekil 8’de gösterilen 512x512 boyutlarındaki gri seviyeli Lena ve Kameraman görüntülerine Şekil 9’da gösterilen 64x64 boyutlarındaki iki seviyeli ‘BM’ ve ‘ABC’ damgaları gizlenmiştir. Damganın karıştırılmasında kullanılan Arnold dönüşümü için iterasyon değeri “10” seçilmiştir [51]. Farklı iterasyon değerleri için BM damgasının karıştırılmış biçimleri Şekil 10’da gösterilmiştir. Önerilen yöntemlerin saldırılara karşı dayanıklılığını ölçmek için damgalanmış görüntülere; keskinleştirme (Sharp), bulanıklaştırma (Blur), ortalama filtreleme (Median), ölçeklendirme (Scale, 512→1024→512 şeklinde), sıkıştırma (JPEG, %20 kalitede) ve gürültü ekleme (Poisson Noise, PN) işlemleri uygulanmıştır. Deneysel çalışmalar Matlab R2016a yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



a) Lena b) Kameraman
Şekil 8. Orijinal görüntüler (Original images)



a) BM b) ABC
Şekil 9. İki-seviyeli damgalar (Binary watermarks)



Şekil 10. Farklı iterasyon değerleri için Arnold dönüşümü (Arnold transformation for different iteration values)

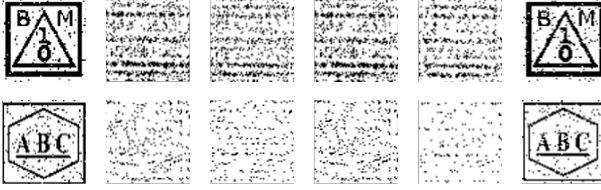
DBDY kullanılarak, k ölçekleme değeri “40” için, BM damgası gizlenmiş Lena ve Kameraman görüntüleri Şekil 11’de verilmiştir. Yapılan saldırılar sonucu Lena görüntüsünden çıkarılan damgalar Şekil 12’de, Kameraman görüntüsünden çıkarılan damgalar ise Şekil 13’de gösterilmiştir. Şekillerden keskinleştirme ve gürültü ekleme saldırılarına karşı yöntemin dayanıklı olduğu anlaşılmaktadır. Diğer saldırılar sonucunda elde edilen damgalar tanımlanamamaktadır.

DKBDY kullanılarak damga gizlenmiş Lena ve Kameraman görüntülerinden saldırılar sonucu çıkarılan damgalar Şekil 14 ve Şekil 15’de verilmiştir. Şekillerden yöntemin gürültü ekleme saldırılarına karşı dayanıklı olduğu görülmektedir. Keskinleştirme saldırılarına karşı kısmen dayanıklı, diğer saldırılar için ise dayanıklı olmadığı anlaşılmaktadır.

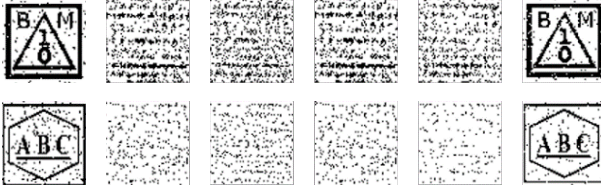


a) Damgalanmış Lena b) Damgalanmış Kameraman
Şekil 11. DBDY ile BM damgası gizlenmiş görüntüler

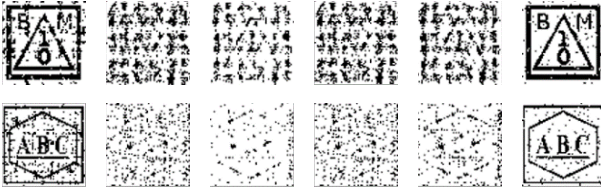
(BM watermarked images by DBDY)



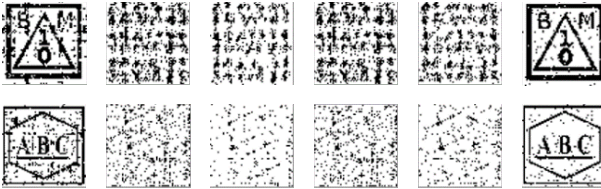
a) Sharp b) Blur c) Median d) Scale e) JPEG f) PN
Şekil 12. DBDY ile damgalanmış Lena görüntüsünden saldırılar sonucu çıkarılan damgalar (Extracted watermarks from attacked Lena image which is watermarked by DBDY)



a) Sharp b) Blur c) Median d) Scale e) JPEG f) PN
Şekil 13. DBDY ile damgalanmış Kameraman görüntüsünden saldırılar sonucu çıkarılan damgalar (Extracted watermarks from attacked Kameraman image which is watermarked by DBDY)



a) Sharp b) Blur c) Median d) Scale e) JPEG f) PN
Şekil 14. DKBDY ile damgalanmış Lena görüntüsünden saldırılar sonucu çıkarılan damgalar (Extracted watermarks from attacked Lena image which is watermarked by DKBDY)

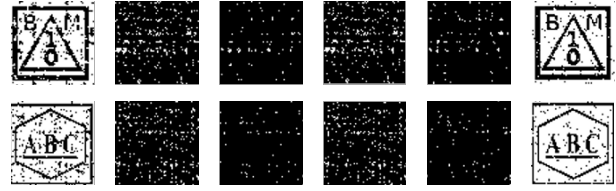


a) Sharp b) Blur c) Median d) Scale e) JPEG f) PN
Şekil 15. DKBDY ile damgalanmış Kameraman görüntüsünden saldırılar sonucu çıkarılan damgalar (Extracted watermarks from attacked Kameraman image which is watermarked by DKBDY)

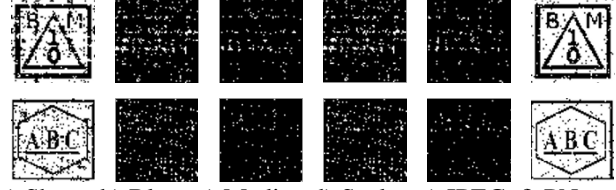
İKBDY ve MBDY kullanılarak damgalanmış görüntülerden saldırılar sonucu çıkarılan damgalar sırasıyla Şekil 16, Şekil 17 ve Şekil 18, Şekil 19'da gösterilmiştir. Benzer şekilde k ölçekleme değeri olarak "40" seçilmiştir. Gürültü ekleme saldırılarına karşı her iki yöntemin de dayanıklı olduğu anlaşılmaktadır. MBDY ile keskinleştirme saldırılarına karşı başarı elde edilmiştir. Diğer saldırılara karşı her iki yöntemin de dayanıklı olmadıkları görülmektedir.

ÜSKBDY kullanılarak, k ölçekleme değeri "40" için, damgalanmış görüntülerinden saldırılar sonucu çıkarılan damgalar sırasıyla Şekil 20 ve Şekil 21'de gösterilmiştir.

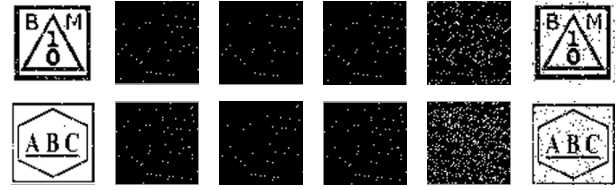
Saldırıların tamamına karşı önerilen bu yöntemin dayanıklı olduğu görülmektedir.



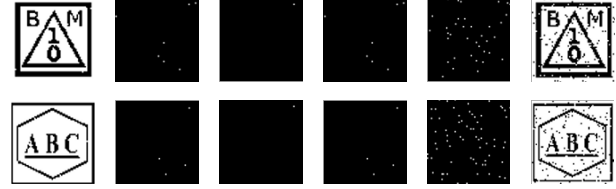
a) Sharp b) Blur c) Median d) Scale e) JPEG f) PN
Şekil 16. İKBDY ile damgalanmış Lena görüntüsünden saldırılar sonucu çıkarılan damgalar (Extracted watermarks from attacked Lena image which is watermarked by İKBDY)



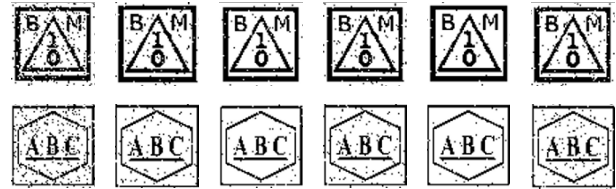
a) Sharp b) Blur c) Median d) Scale e) JPEG f) PN
Şekil 17. İKBDY ile damgalanmış Kameraman görüntüsünden saldırılar sonucu çıkarılan damgalar (Extracted watermarks from attacked Kameraman image which is watermarked by İKBDY)



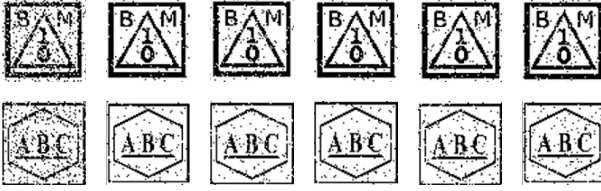
a) Sharp b) Blur c) Median d) Scale e) JPEG f) PN
Şekil 18. MBDY ile damgalanmış Lena görüntüsünden saldırılar sonucu çıkarılan damgalar (Extracted watermarks from attacked Lena image which is watermarked by MBDY)



a) Sharp b) Blur c) Median d) Scale e) JPEG f) PN
Şekil 19. MBDY ile damgalanmış Kameraman görüntüsünden saldırılar sonucu çıkarılan damgalar (Extracted watermarks from attacked Kameraman image which is watermarked by MBDY)



a) Sharp b) Blur c) Median d) Scale e) JPEG f) PN
Şekil 20. ÜSKBDY ile damgalanmış Lena görüntüsünden saldırılar sonucu çıkarılan damgalar (Extracted watermarks from attacked Lena image which is watermarked by ÜSKBDY)



a) Sharp b) Blur c) Median d) Scale e) JPEG f) PN
Şekil 21. ÜSKBDY ile damgalanmış Kameraman görüntüsünden saldırılar sonucu çıkarılan damgalar (Extracted watermarks from attacked Kameraman image which is watermarked by USKBDY)

Orijinal görüntü ile damgalanmış görüntü arasındaki korelasyon değerini hesaplamak için aşağıdaki denklemde verilen PSNR kullanılmıştır.

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{255^2}{MSE} \right) \quad (1)$$

MSE, damgalanmış görüntü ile orijinal görüntü arasındaki ortalama karesel hata olarak bilinir ve aşağıdaki denkleme göre hesaplanır:

$$MSE = \frac{1}{m \times n} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} [I(i, j) - I^w(i, j)]^2 \quad (2)$$

Buradaki m ve n , görüntünün boyutlarını, $I(i, j)$, orijinal görüntünün, $I^w(i, j)$ ise damgalanmış görüntünün (i, j) konumlarındaki piksel değerlerini ifade etmektedir.

Orijinal damga ile çıkarılan damga arasındaki korelasyon değerini hesaplamak için ise aşağıdaki denklemde verilen NC kullanılmıştır.

$$NC = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (W^e(i, j) - W_m^e)(W^o(i, j) - W_m^o)}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (W^e(i, j) - W_m^e)^2 \right) \left(\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (W^o(i, j) - W_m^o)^2 \right)}} \quad (3)$$

Denklemdaki M ve N , damganın boyutlarını, $W^e(i, j)$, gizlenen orijinal damganın, $W^o(i, j)$ ise çıkarılan damganın (i, j) konumlarındaki iki seviyeli değerlerini ifade etmektedir. W_m^e ve W_m^o ise sırasıyla gizlenen ve çıkarılan damgaların ortalama değerleridir.

Lena görüntüsüne farklı k ölçekleme değerleri için ‘BM’ ve ‘ABC’ damgalarının eklenmesinde önerilen yöntemlerin başarımları değerlendirilmiştir. Orijinal görüntüler ile damgalanmış görüntüler arasındaki PSNR değerleri ve orijinal damgalar ile yapılan saldırılar sonucu çıkarılan damgaların NC değerleri DBDY, DKBDY, İKBDY, MBDY ve ÜSKBDY için sırasıyla Tablo 1, Tablo 2, Tablo 3, Tablo 4 ve Tablo 5’de verilmiştir.

Tablolar incelendiğinde, ölçekleme değeri artarken PSNR değerlerinin azaldığı, NC değerlerinin ise arttığı görülmektedir. PSNR değerinin 30dB’den yüksek olması damgalanmış görüntünün kalitesi için kabul edilebilir bir değer olarak nitelendirilmektedir [52-53]. k ölçekleme değeri “40” için önerilen yöntemler ile damgalar orijinal görüntülerin kalitesini etkilemeyecek şekilde

gizlenmektedirler. Aynı ölçekleme değeri için ise, sadece ÜSKBDY ile damgalanmış görüntülerin saldırılara karşı dayanıklılık sağladıkları görülmektedir.

Tablo 1. DBDY ile elde edilen korelasyon değerleri (Correlation values obtained by DBDY)

		Ölçekleme değerleri (k)					
		10	20	40	60	80	
NC	Sharp	BM	0,636	0,851	0,943	0,972	0,982
		ABC	0,538	0,749	0,880	0,923	0,943
	Blur	BM	0,067	0,116	0,182	0,214	0,227
		ABC	0,066	0,098	0,114	0,113	0,118
	Scale	BM	0,052	0,103	0,206	0,247	0,254
		ABC	0,054	0,088	0,141	0,131	0,111
	Median	BM	0,067	0,116	0,182	0,213	0,227
		ABC	0,066	0,097	0,116	0,113	0,118
	JPEG	BM	0,123	0,192	0,274	0,339	0,350
		ABC	0,069	0,152	0,206	0,221	0,215
	PN	BM	0,346	0,594	0,929	0,990	1,000
		ABC	0,298	0,542	0,910	0,990	1,000
PSNR	BM	46,55	40,78	34,83	31,31	28,82	
	ABC	45,87	40,06	34,09	30,58	28,09	

Tablo 2. DKBDY ile elde edilen korelasyon değerleri (Correlation values obtained by DKBDY)

		Ölçekleme değerleri (k)					
		10	20	40	60	80	
NC	Sharp	BM	0,628	0,763	0,816	0,825	0,832
		ABC	0,582	0,705	0,762	0,773	0,777
	Blur	BM	0,102	0,151	0,175	0,172	0,175
		ABC	0,049	0,060	0,069	0,073	0,071
	Scale	BM	0,206	0,309	0,385	0,407	0,417
		ABC	0,134	0,217	0,270	0,272	0,297
	Median	BM	0,102	0,151	0,175	0,172	0,175
		ABC	0,050	0,061	0,069	0,073	0,071
	JPEG	BM	0,152	0,297	0,420	0,443	0,464
		ABC	0,136	0,228	0,320	0,357	0,376
	PN	BM	0,332	0,607	0,913	0,991	1,000
		ABC	0,299	0,547	0,898	0,987	1,000
PSNR	BM	46,54	40,78	34,82	31,31	28,82	
	ABC	45,89	40,06	34,10	30,58	28,09	

Tablo 3. İKBDY ile elde edilen korelasyon değerleri (Correlation values obtained by İKBDY)

		Ölçekleme değerleri (k)					
		10	20	40	60	80	
NC	Sharp	BM	0,556	0,729	0,823	0,848	0,856
		ABC	0,495	0,684	0,788	0,819	0,835
	Blur	BM	0,026	0,038	0,037	0,030	0,036
		ABC	0,079	0,087	0,059	0,060	0,060
	Scale	BM	0,096	0,106	0,081	0,068	0,070
		ABC	0,116	0,116	0,062	0,045	0,034
	Median	BM	0,026	0,038	0,040	0,031	0,035
		ABC	0,080	0,087	0,059	0,060	0,060
	JPEG	BM	0,142	0,150	0,101	0,178	0,285
		ABC	0,143	0,119	0,067	0,163	0,253
	PN	BM	0,349	0,613	0,917	0,993	1,000
		ABC	0,290	0,553	0,900	0,989	0,999
PSNR	BM	46,55	40,78	34,82	31,31	28,82	
	ABC	45,87	40,06	34,09	30,58	28,09	

Tablo 4. MBDY ile elde edilen korelasyon değerleri
(Correlation values obtained by MBDY)

		Ölçekleme değerleri (<i>k</i>)					
		10	20	40	60	80	
NC	Sharp	BM	0,804	0,924	0,976	0,993	0,997
		ABC	0,799	0,929	0,987	0,995	0,997
	Blur	BM	0,073	0,061	0,031	0,023	0,019
		ABC	0,083	0,063	0,024	0,019	0,011
	Scale	BM	0,015	0,005	0,010	0,004	0,011
		ABC	0,023	0,015	0,008	0,005	0,023
	Median	BM	0,072	0,061	0,031	0,023	0,019
		ABC	0,083	0,063	0,024	0,019	0,011
	JPEG	BM	0,011	0,042	0,104	0,196	0,288
		ABC	0,021	0,044	0,105	0,184	0,293
	PN	BM	0,325	0,615	0,928	0,992	0,999
		ABC	0,313	0,578	0,890	0,990	1,000
PSNR	BM	46,54	40,78	34,82	31,31	28,82	
	ABC	45,87	40,06	34,09	30,58	28,09	

Tablo 5. ÜSKBDY ile elde edilen korelasyon değerleri
(Correlation values obtained by ÜSKBDY)

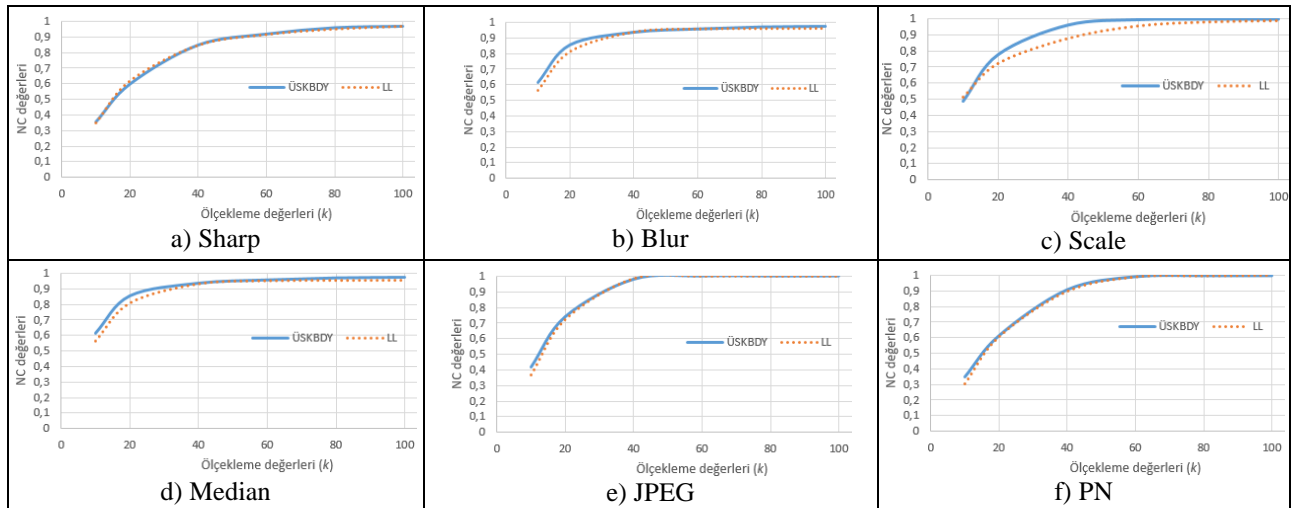
		Ölçekleme değerleri (<i>k</i>)					
		10	20	40	60	80	
NC	Sharp	BM	0,354	0,597	0,847	0,917	0,958
		ABC	0,283	0,534	0,808	0,901	0,943
	Blur	BM	0,615	0,854	0,935	0,956	0,969
		ABC	0,586	0,822	0,918	0,942	0,957
	Scale	BM	0,487	0,778	0,963	0,997	1,000
		ABC	0,466	0,782	0,962	0,994	1,000
	Median	BM	0,614	0,854	0,935	0,956	0,969
		ABC	0,585	0,822	0,918	0,942	0,957
	JPEG	BM	0,419	0,740	0,979	1,000	1,000
		ABC	0,383	0,685	0,972	1,000	1,000
	PN	BM	0,350	0,615	0,910	0,993	1,000
		ABC	0,321	0,548	0,890	0,990	0,999
PSNR	BM	46,54	40,78	34,83	31,31	28,82	
	ABC	45,88	40,07	34,09	30,58	28,09	

Tablolar ve şekiller incelendiğinde önerilen farklı alt bölgelere damga ekleme yöntemleri arasında en iyi sonuçlar ÜSKBDY ile elde edilmiştir. LL bandına damga ekleme yöntemi ile önerilen ÜSKBDY'yi karşılaştırmak için Şekil 8'deki Lena ve Kameraman görüntülerine Şekil 9'daki 64x64 boyutlarındaki 'BM' ve 'ABC' damgaları gizlenmiştir. LL bandına damga ekleme yönteminde orijinal görüntüye diğer yöntemlerde olduğu gibi önce iki boyutlu AKD ve ardından Haar dalgacığı kullanılarak bir seviyeli ADD uygulanmıştır. 256x256 boyutlarındaki LL bandının sol üst köşesine, Arnold dönüşümü ve AKD uygulanmış 64x64 boyutlarındaki damga *k* ölçekleme değeri ile çarpılarak eklenmiştir.

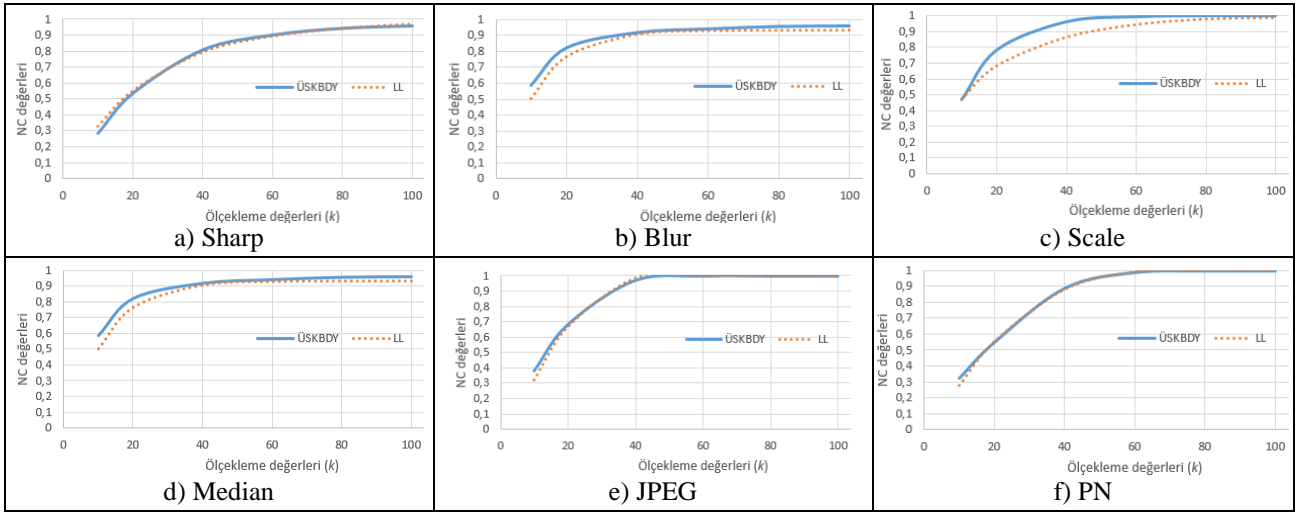
Farklı *k* ölçekleme değerleri için Lena görüntüsüne 'BM' ve 'ABC' damgalarının eklenmesinde önerilen yöntem ile LL bandına damga ekleme yönteminin NC değerlerine göre karşılaştırma sonuçları Şekil 22 ve Şekil 23'de verilmiştir. Şekiller incelendiğinde önerilen ÜSKBDY'nin bütün saldırılar için daha dayanıklı olduğu görülmektedir.

Şekil 24 ve Şekil 25'de ise Kameraman görüntüsü için karşılaştırma sonuçları gösterilmiştir. Keskinleştirme saldırıları hariç diğer bütün saldırılar için önerilen ÜSKBDY'nin daha iyi başarımlar elde ettiği şekillerden anlaşılmaktadır.

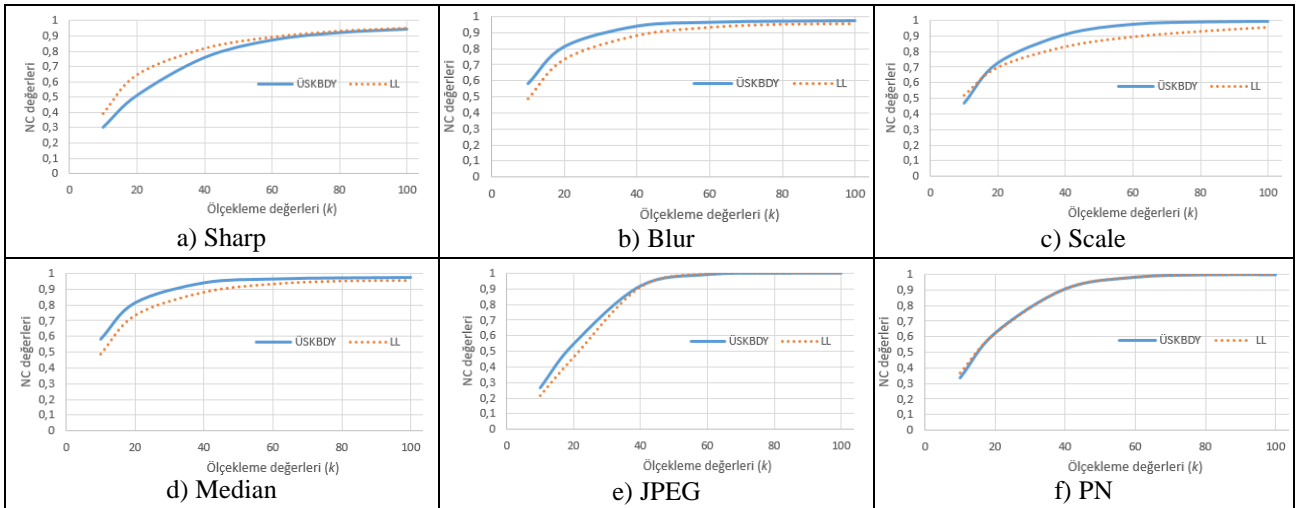
k ölçekleme değeri "40" için önerilen yöntem ve LL bandına damga ekleme yöntemi ile elde edilen damgalanmış görüntülerin PSNR değerleri Tablo 6'da verilmiştir. Tablo incelendiğinde her iki yöntem ile damgalanmış görüntülerin kalitelerinin korunduğu görülmektedir.



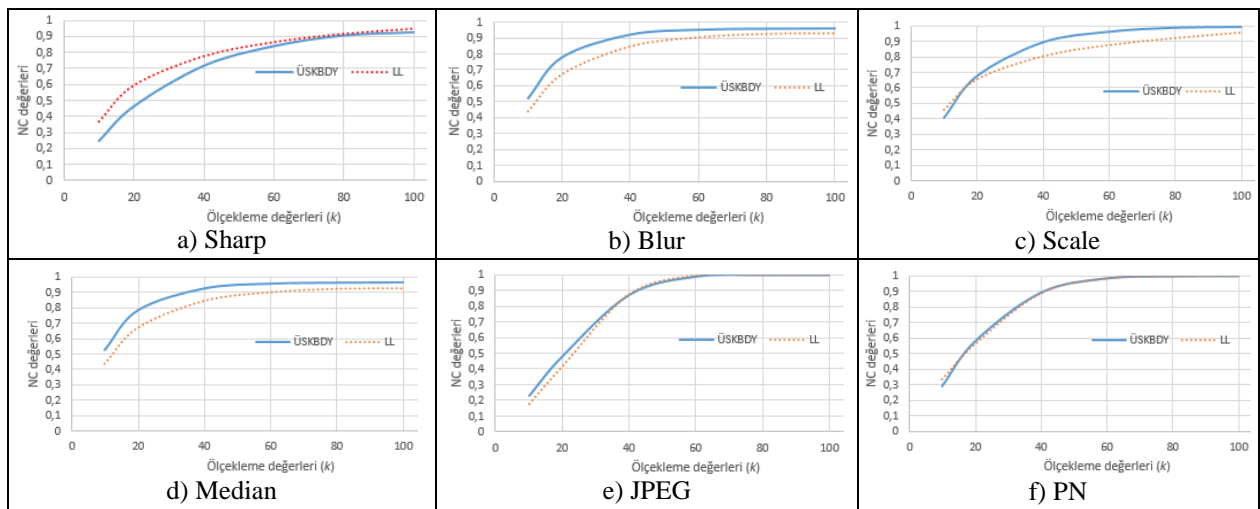
Şekil 22. Lena görüntüsüne BM damgalarının eklenmesinde NC değerleri için ÜSKBDY ve LL yöntemlerinin karşılaştırılması (Comparison of ÜSKBDY and LL methods for NC values which are obtained from embedding BM watermark into Lena image)



Şekil 23. Lena görüntüsüne ABC damgalarının eklenmesinde NC değerleri için ÜSKBDY ve LL yöntemlerinin karşılaştırılması
(Comparison of ÜSKBDY and LL methods for NC values which are obtained from embedding ABC watermark into Lena image)



Şekil 24. Kameraman görüntüsüne BM damgalarının eklenmesinde NC değerleri için ÜSKBDY ve LL yöntemlerinin karşılaştırılması
(Comparison of ÜSKBDY and LL methods for NC values which are obtained from embedding BM watermark into Kameraman image)



Şekil 25. Kameraman görüntüsüne ABC damgalarının eklenmesinde NC değerleri için ÜSKBDY ve LL yöntemlerinin karşılaştırılması
(Comparison of ÜSKBDY and LL methods for NC values which are obtained from embedding ABC watermark into Kameraman image)

Tablo 6. PSNR değerleri için ÜSKBDY ve LL yöntemlerinin karşılaştırılması
(Comparison of ÜSKBDY and LL methods for PSNR values)

Damgalanmış görüntü	Lena		Kameraman	
	'BM'	'ABC'	'BM'	'ABC'
LL	34,8260	34,0942	35,8749	35,1430
ÜSKBDY	34,8256	34,0939	35,8749	35,1430

6. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada frekans uzayı tekniklerinden AKD ve ADD birlikte kullanılarak yeni bir gri seviyeli dayanıklı görüntü damgalama yöntemi önerilmiştir. Önerilen yöntemde Arnold dönüşümü damganın karıştırılması için kullanılmıştır. Ayrıca, ADD uzayında farklı bölgelere damga ekleme işlemi önerilen gri-seviyeli damgalama yönteminin başarımı değerlendirilmiştir. Damgalanmış görüntülere doğrusal ve doğrusal olmayan saldırılar uygulanarak değerlendirme yapılmıştır. DBDY, DKBDY, İKBDY ve MBDY, sadece keskinleştirme ve gürültü ekleme saldırılarına karşı dayanıklılık göstermişlerdir. ÜSKBDY ise yapılan saldırıların tamamına karşı direnç göstermiştir. Önerilen bütün yöntemler damgalanmış görüntülerin kalitesini korumuşlardır. Bununla birlikte, ÜSKBDY ise LL bandına damga ekleme yöntemi karşılaştırılmıştır. Önerilen ÜSKBDY'nin daha iyi başarımlar elde ettiği görülmüştür.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] V. M. Potdar, S. Han, E. Chang, "A Survey of Digital Image Watermarking Techniques", **3rd IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN'05)**, Perth, WA, Australia, 709-716, 2005.
- [2] S. Öztürk, **Kırılgan ve Dayanıklı Resim Damgalama Tekniklerinin Başarımının Zeki Optimizasyon Yöntemleriyle Artırılması**, Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
- [3] H. Tao, L. Chongmin, J. M. Zain, A. N. Abdalla, "Robust Image Watermarking Theories and Techniques: A Review", *Journal of Applied Research and Technology*, 12(1), 122-138, 2014.
- [4] V. Aslantaş, Ş. Özer, S. Öztürk, "Genetik Algoritma ile Ayrık Kosinüs Dönüşümü Tabanlı Yeni Bir Resim Damgalama Tekniği", **IEEE 17. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SİU-2009)**, Antalya, 285-288, 2009.
- [5] S.M. Mousavi, A. Naghsh, S.A.R. Abu-Bakar "Watermarking Techniques used in Medical Images: a Survey", *Journal of Digital Imaging*, 27, 714-729, 2014.
- [6] V. Aslantaş, Ş. Özer, S. Öztürk, "Tekil Değer Çıkarma Tabanlı Resim Damgalama Tekniklerinin Karşılaştırılması", **ELECO'2006**, Elektrik-Bilgisayar, Bursa, 312-316, 2006.
- [7] N. Nikolaidis, I. Pitas, "Robust Image Watermarking in the Spatial Domain", *Signal Processing*, 66(3), 385-403, 1998.
- [8] R. Sath, N. Mishra, S. Sharma, "Dual Plane Multiple Spatial Watermarking with Self-encryption", *Sadhana*, 41(1), 1-14, 2016.
- [9] C. Qin, P. Ji, X. Zhang, J. Dong, J. Wang, "Fragile Image Watermarking with Pixel-wise Recovery based on Overlapping Embedding Strategy", *Signal Processing*, 138, 280-293, 2017.
- [10] V. Solachidis, L. Pitas, "Circularly Symmetric Watermark Embedding in 2-D DFT Domain", *IEEE Transactions on Image Processing*, 10(11), 1741-1753, 2001.
- [11] M. Urvoy, D. Goudia, F. Atrousseau, "Perceptual DFT Watermarking with Improved Detection and Robustness to Geometrical Distortions", *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 9(7), 1108-1119, 2014.
- [12] M.C. Hernandez, F.G. Ugalde, M.N. Miyatake, H.P. Meana, "Robust Watermarking Method in DFT Domain for Effective Management of Medical Imaging", *Signal, Image and Video Processing*, 9(5), 1163-1178, 2015.
- [13] J. Huang, Y.Q. Shi, Y. Shi, "Embedding Image Watermarks in DC Components", *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 10(6), 974-979, 2000.
- [14] S. Liu, Z. Pan, H. Song, "Digital Image Watermarking Method based on DCT and Fractal Encoding", *IET Image Processing*, 11(10), 815-821, 2017.
- [15] M. Moosazadeh, G. Ekbatanifard, "An Improved Robust Image Watermarking Method using DCT and YCoCg-R Color Space", *Optik - International Journal for Light and Electron Optics*, 140, 975-988, 2017.
- [16] B. Lutovac, M. Dakovic, S. Stankovic, I. Orovic, "An Algorithm for Robust Image Watermarking based on the DCT and Zernike Moments", *Multimedia Tools and Applications*, 76(22), 23333-23352, 2017.
- [17] M. Barni, F. Bartolini, A. Piva, "Improved Wavelet-based Watermarking Through Pixel-Wise Masking", *IEEE Transactions on Image Processing*, 10(5), 783 - 791, 2001.
- [18] R.P. Singh, N. Dabas, V. Chaudhary, Nagendra, "Online Sequential Extreme Learning Machine for Watermarking in DWT Domain", *Neurocomputing*, 174(A), 238-249, 2016.

- [19] S. Kaur, H. Jindal, "Enhanced Image Watermarking Technique using Wavelets and Interpolation", *I.J. Image, Graphics and Signal Processing*, 7, 23-35, 2017.
- [20] H.C. Huang, F.H. Wang, J.S. Pan, "Efficient and Robust Watermarking Algorithm with Vector Quantization", *Electronic Letters*, 37 (13), 826-828, 2001.
- [21] A. Tiwari, M. Sharma, "Novel Watermarking Scheme for Image Authentication using Vector Quantization Approach", *Radioelectronics and Communications Systems*, 60(4), 161-172, 2017.
- [22] C. Qin, P. Ji, J. Wang, C.C. Chang, "Fragile Image Watermarking Scheme based on VQ Index Sharing and Self-embedding", *Multimedia Tools and Applications*, 76(2), 2267-2287, 2017.
- [23] V. Aslantas, "An Optimal Robust Digital Image Watermarking Based on SVD using Differential Evolution Algorithm", *Optics Communications*, 282, 769-777, 2009.
- [24] I.A. Ansar, M. Pant, C.W. Ahn, "SVD based Fragile Watermarking Scheme for Tamper Localization and Self-recovery", *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*, 7(6), 1225-1239, 2016.
- [25] N.R. Sawant, P.S. Patil, "Comparative Study of SWT-SVD and DWT-SVD Digital Image Watermarking Technique", *International Journal of Computer Applications*, 166(12), 9-17, 2017.
- [26] A. Abdulrahman, S. Öztürk "Ayrık Kosinüs Dönüşümü ve Ayrık Dalgacık Dönüşümü Tabanlı Çoklu Resim Damgalama Yöntemi", **Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP) 2017**, Malatya, Türkiye, Doi: 10.1109/IDAP.2017.8090208, 2017.
- [27] T.K. Tewari, Vikas Saxena "An Improved and Robust DCT based Digital Image Watermarking Scheme", *International Journal of Computer Applications*, 3(1), 28-32, 2010.
- [28] C. Das, S. Panigrahi, V.K. Sharma, K.K. Mahapatra, "A Novel Blind Robust Image Watermarking in DCT Domain Using Inter-block Coefficient Correlation", *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, 68(3), 244-253, 2014.
- [29] B. Ram, "Digital Image Watermarking Technique Using Discrete Wavelet Transform and Discrete Cosine Transform", *International Journal of Advancements in Research & Technology*, 2(4), 19-27, 2013.
- [30] R. Chamlawi, A. Khan, I. Usman, "Authentication and Recovery of Images Using Multiple Watermarks", *Computers & Electrical Engineering*, 36(3), 578-584, 2010.
- [31] G. Yuxi, W. Yanmin, "DWT Image Watermarking Algorithm Based on Scrambling Algorithm", **World Automation Congress (WAC)**, Puerto Vallarta, Mexico, 1-4, 2012.
- [32] A. Ahmad, G.R. Sinha, N. Kashyap, "3-Level DWT Image Watermarking Against Frequency and Geometrical Attacks", *I.J. Computer Network and Information Security*, 12, 58-63, 2014.
- [33] P. Pithiya, H. Desai, "DCT based Digital Image Watermarking, De-watermarking & Authentication". *International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology (IJLTET)*, 2 (3), 213-219, 2013.
- [34] R. Chaturvedi, N. Hemrajani, "Analysis of Robust Watermarking Technique using Mid Band DCT Domain for Different Image Formats", *International Journal of Scientific and Research Publications*, 2 (3), 1-4, 2012.
- [35] A. Akter, N.E. Tajnina, M. A. Ullah, "Digital Image Watermarking Based on DWT-DCT: Evaluate for a New Embedding Algorithm", **International Conference on Informatics, Electronics & Vision (ICIEV)**, Dhaka, Bangladesh, 1-6, 2014.
- [36] M.F.M.E. Bireki, M. F. L. Abdullah, A.A.M. Ukasha, A.A. Elrowayati, "Digital Image Watermarking Based On Joint (DCT-DWT) and Arnold Transform", *International Journal of Security and Its Applications*, 10(5), 107-118, 2016.
- [37] J. Kaur, N. Singh, C. Jain, "An Improved Image Watermarking Technique Implementing 2-DWT and SVD", **IEEE International Conference On Recent Trends In Electronics Information Communication Technology (RTEICT)**, Bangalore, India, 2016.
- [38] M.M. Rahman, M.S. Ahammed, M.R. Ahmed, M.N. Izhar, "A Semi Blind Watermarking Technique for Copyright Protection of Image Based on DCT and SVD Domain", *The Global Journal of Researches in Engineering (GJRE)*, 16(7-F), 9-15, 2017.
- [39] R.S. Run, S.J. Horng, J.L. Lai, T.W. Kao, R.J. Chen, "An Improved SVD-based Watermarking Technique for Copyright Protection", *Expert Systems with Applications*, 39(1), 673-689, 2012.
- [40] T. Amiri, M.E. Moghaddam, "A New Visual Cryptography Based Watermarking Scheme Using DWT and SIFT for Multiple Cover Images", *Multimedia Tools and Applications*, 75(14), 8527-8543, 2016.
- [41] N. Tiwari, N. Hemrajani, D. Goyal, "Improved Digital Image Watermarking Algorithm Based on Hybrid DWT-FFT and SVD Techniques", *Indian Journal of Science and Technology*, 10(3), 1-7, 2017.
- [42] A.K. Singh, M. Dave, A. Mohan, "Hybrid Technique for Robust and Imperceptible Image

- Watermarking in DWT–DCT–SVD Domain", *National Academy Science Letters*, 37(4), 351-358, 2014.
- [43] Z. Zhang, C. Wang, X. Zhou, "Image Watermarking Scheme Based on Arnold Transform and DWT-DCT-SVD", **IEEE 13th International Conference on Signal Processing (ICSP2016)**, Chengdu, China, 805-810, 2016.
- [44] R.K. Sheth, V.V. Nath, "Secured Digital Image Watermarking with Discrete Cosine Transform and Discrete Wavelet Transform method", **International Conference on Advances in Computing, Communication, & Automation (ICACCA)**, Dehradun, India, 1-5, 2016.
- [45] G. Budiman, L. Novamizanti, I. Iwut, "Genetics Algorithm Optimization of DWT-DCT based Image Watermarking", *Journal of Physics: Conference Series (JPCS)*, 795(1), 1-8, 2017.
- [46] P. Vaidya, C. Mouli, "A Robust Semi-blind Watermarking for Color Images based on Multiple Decompositions", *Multimedia Tools and Applications*, 76(24), 25623–25656, 2017.
- [47] S. Bajracharya, R. Koju, "An Improved DWT-SVD based Robust Digital Image Watermarking for Color Image", *International Journal Engineering and Manufacturing*, 1(11), 49-59, 2017.
- [48] R. Koju, S.R. Joshi, "A Semi-blind Watermarking of Color Images using Slant Transform, DWT and SVD". *International Journal Image, Graphics and Signal Processing*, 3(12), 62-73, 2017.
- [49] A.K. Jain, **Fundamentals of Digital Image Processing**, Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall, 1989.
- [50] M. Kaya, **Görüntü Dosyalarında Filigran Kullanarak Telif Haklarının Korunması**, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2007.
- [51] S. S. Shankar, A. Rengarajan, "Data Hiding in Encrypted Images Using Arnold Transform", *ICTACT Journal on Image And Video Processing*, 7(1), 1339-1344, 2016.
- [52] C. Pradhan, S. Rath, A.K. Bisoi, "Non Blind Digital Watermarking Technique Using DWT and Cross Chaos", *Journal of Procedia Technology*, 6(2012), 897-904, 2012.
- [53] Q. Wang, Q. Ding, Z. Zhang, L. Ding, "Digital Image Encryption Research Based on DWT and Chaos", **Fourth International Conference on Natural Computation (ICNC)**, Jinan, China, 494-498, 2008.