



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Aradeğerleme Hatalarının Histogram Değiştirilmesine Dayalı Tersinir Görüntü Damgalama

Burhan BARAKLI^{a,*}, İbrahim YILDIRIM^b, Can YÜZKOLLAR^c

^a Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, TÜRKİYE

^b Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, TÜRKİYE

^c Bilgisayar Müh. Bölümü, Bilgisayar ve Bilişim Bilimleri Fakültesi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: barakli@sakarya.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, aradeğerleme tekniği kullanılarak yeni bir tersinir görüntü damgalama yöntemi geliştirilmiştir. Mevcut yöntemlerden farklı olarak öngörü hatası yerine aradeğerleme hatası kullanılmıştır. Görüntüdeki ilinti daha efektif bir şekilde kullanılarak etkin bir yöntem sunulmuştur. Önerilen yöntem bir yandan görüntüye yüksek miktarda veri eklenmesine imkân verirken diğer yandan da orijinal görüntüde damga ekleme sonucunda oluşan bozunumun az olmasını sağlamaktadır. Damgalı görüntü dışında ek bir bilgiye ihtiyaç duyulmadan orijinal görüntü ve damga kayıpsız olarak geri elde edilmektedir. Yöntemin mevcut yöntemlere göre kapasite ve görsel kalite bakımlarından üstün olduğu bilgisayar benzetimleri ile gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: *Tersinir Görüntü Damgalama, Histogram Değiştirme, Aradeğerleme Hatası*

Reversible Image Watermarking Based on Histogram Modification of Interpolation Error

ABSTRACT

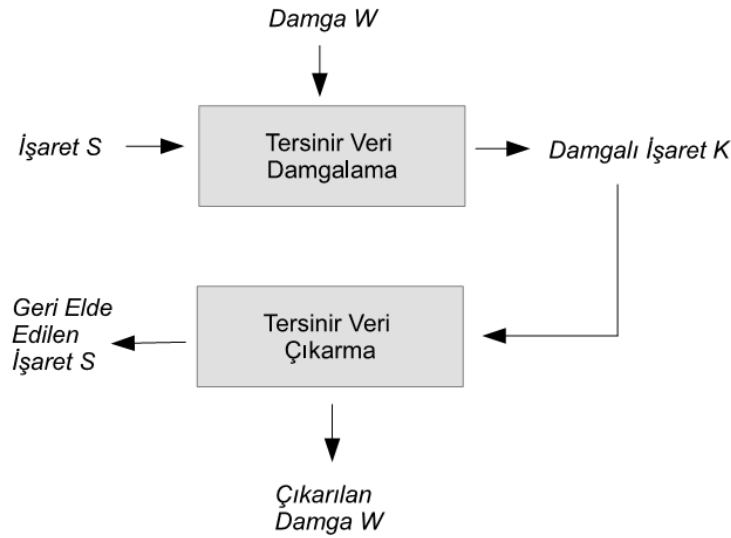
In this work, a new reversible image watermarking method using interpolation technique is implemented. Unlike existing methods, interpolation error is used for watermarking instead of the prediction error. A novel method has been proposed by using correlation between image pixels effectively. The proposed method enables the addition of large amounts of data while reduces the image degradation as a result of watermarking. Without the need for additional information, original image and watermark can be lossless reconstructed. Superiority of the proposed method over other existing methods is demonstrated by computer simulations in terms of capacity and visual quality.

Keywords: *Reversible Image Watermarking, Histogram Modification, Interpolation Error*

I. GİRİŞ

İNTERNET ve çoklu-ortam teknolojilerinin yaygınlaşması, sayısal işaretlerin (görüntü, ses ve video) kolay bir şekilde dağıtılablmesini sağlamıştır. Bunun sonucunda, sayısal işaretlerin korunması ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Özellikle içerik üreticilerin telif haklarının korunması, kopyalamaya karşı koruma ve işaretlerin orijinal olup olmadığının belirlenmesi önemli ihtiyaçlardır. Sayısal işaretlerin korunması için şifreleme ve sayısal damgalama yöntemleri geliştirilmiştir. Şifrelemede, şifrelenmiş veri bir kere çözüldükten sonra işaretle ilgili bir koruma söz konusu değildir. Sayısal damgalama da ise, gizli bilgi (içerik üreticisinin bilgisi, doğrulama kodu, indeks numarası gibi) sayısal işarete eklenir. Gizli bilgi, orijinal işaretle birlikte yaşayacağından sürekli bir koruma söz konusu olmaktadır [1].

Geleneksel sayısal damgalama yöntemlerinde, gizli bilginin (damga) işarete eklenmesi ile işarete kalıcı bozunumlar oluşmaktadır. Yani işaret orijinal haline geri döndürülemez. Kritik uygulamalarda ise orijinal işaretin tam doğrulukta geri elde edilmesi istenir. Örneğin tıbbi bir uygulamada görüntü üzerinde oluşacak hata istenmeyen sonuçlara sebep olabilir. Bu gibi problemleri çözmek için tersinir damgalama yöntemleri geliştirilmiştir. Tersinir damgalama yöntemi sadece orijinal işareti korumakla kalmayacak, aynı zamanda damgalanmış işareten damganın çıkartılmasıyla orijinal işaret hatasız olarak geri elde edilebilecektir. Damgalanmış işareten orijinal işaretin hatasız olarak geri elde edilmesini sağlayan damgalama yöntemlerine tersinir veya kayıpsız damgalama yöntemleri denir. Tersinir damgalama yönteminin genel bir çalışma şekli Şekil 1'de verilmiştir. Gönderici tersinir damgalama yöntemi ile W damgasını, orijinal işaret S 'ye eklemektedir. Alıcı ise, ters dönüşüm sayesinde orijinal işareti ve eklenen damgayı hatasız olarak geri elde etmektedir [2].



Şekil 1. Tersinir Damgalama Yöntemi

Literatürde tersinir damgalama yöntemleri kabaca üç ana gruba ayrılabilir: kayıpsız veri sıkıştırma yöntemleri ile histogram değiştirme (HD) ve fark genişletme (FG) yöntemleridir. Bunlardan ilki karmaşık hesaplama gerektirmekte ve düşük kapasiteye sahiptir. Diğer iki yöntem ise her iki ölçüte göre daha iyi sonuçlar vermektedir.

Sıkıştırmaya dayalı yöntemlerden; Fridrich ve arkadaşları [3] görüntünün en az anlamlı bitlerini (LSB) sıkıştırmış ve oluşan boşluğa damga ekleyerek tersinir görüntü damgalama yöntemi geliştirmişlerdir.

Daha sonra aritmetik tabanlı bir yöntem ile damgalama kapasitesinin iyileştirildiği bir yöntem sunulmuştur [4]. FG yöntemi bir çeşit tamsayı dalgacık dönüşümüdür [5]. Yöntemde görüntüdeki komşu piksel değerlerinin farkları genişletilerek boşluklar oluşturulup bu alanlara damga eklenir. Yöntem yüksek damgalama kapasitesi ve PSNR sağlamaktadır. FG yönteminin performansının iyileştirilmesi amacıyla çok sayıda çalışma yapılmıştır. Alattar [6] FG yöntemini, belirli bir komşuluktaki piksel değerlerinin arasındaki fark vektörlerine uyarlamıştır.

Kim ve arkadaşları [7] konum haritasının boyutunu küçültmüş, Lin ve arkadaşları [8] konum haritasını tamamen ortadan kaldırarak veri kapasitesini arttırmışlardır. Son zamanlarda, Hue ve arkadaşları [9] FG yöntemini öngörü-hatasına uygulamış ve konum haritası için yeni bir yaklaşım geliştirmiş, Luo ve arkadaşları [10] aradeğerleme hatasına uygulamış, görüntülerin düşük çözünürlükleri yardımıyla yüksek kapasiteli ve düşük bozunumlu bir tersinir görüntü damgalama yöntemi geliştirmişlerdir. Diğer bir etkili tersinir damgalama yöntemi ise HD 'dir. HD yöntemi, Ni ve arkadaşları [11] tarafından ortaya atılan ve görüntünün histogramından yararlanarak az hesap yüklü, yüksek kapasiteli ve düşük bozunumlu damgalama gerçekleştiren bir tersinir damgalama yöntemidir. HD, görüntü histogramındaki maksimum ve minimum noktaları kullanır. Yöntemin arkasındaki temel fikir, görüntü histogramındaki maksimum nokta kadar boşluk oluşturmak ve bu boşluğa damga ekleyerek damgalanmış görüntüyü oluşturmaktır. Damga çözücünün, damgalanmış görüntüden orijinal görüntüyü tekrar geri elde edebilmesi için histogramın maksimum ve minimum noktalarının da damga çözücüye yan bilgi olarak iletilmesi gerekmektedir. HD yönteminin performansını arttırmak amacıyla çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiştir. Hwang ve arkadaşları, histogramdaki maksimum ve minimum noktaların yerine konum haritası oluşturmayı önermiştir [12]. Lin ve Huseuh, üç piksel blok farklarının histogramına HD algoritmasını uygulamıştır [13]. Kim ve arkadaşları, alt örneklenmiş görüntüler arasındaki uzamsal ilintiye dayalı bir HD yöntemi tasarlamıştır [14]. Son olarak Tsai ve arkadaşları [15], görüntüyü örtüşmeyen bloklara ayırarak etkili bir yöntem sunmuşlardır.

Bu çalışmada, aradeğerleme hatasının genişletilmesine dayalı yeni bir çalışma yapılmıştır. Diğer tersinir damgalamalarından farklı olarak aradeğerleme tekniği kullanılarak görüntüde boşluklar oluşturulmuş ve bu boşluklara damga eklenmiştir. Tersinir damgalama tekniği olarak fark genişletmesi yerine mutlak aradeğerleme hatasına HD yöntemi uygulanmıştır. Ayrıca literatürde sıklıkla kullanılan bir görüntü aradeğerleme tekniği kullanılarak pikseller arası ilinti etkin bir şekilde çıkarılmıştır. Önerilen yöntemde yüksek kapasite değerlerinde bile kaliteli görüntü sonuçlarına ulaşılmıştır.

Çalışma aşağıdaki şekilde düzenlenmiştir. Aradeğerleme, aradeğerleme hatasının genişletilmesi ve önerilen yöntem Kısım II'de tartışılmıştır. Önerilen yöntemin kapasite ve görsel kalite bakımından performansı bilgisayar simülasyonları aracılığıyla Kısım III'te incelenmiş ve öngörü hatasına dayalı yöntemlere göre üstün olduğu gösterilmiştir. Son olarak, çalışmadan elde edilen kazanımlar Kısım IV'te özetlenmiştir.

II. ÖNERİLEN TERSİNİR DAMGALAMA YÖNTEMİ

Bu bölümde, ilk olarak, mutlak aradeğerleme hatasının genişletilmesi detaylı olarak tartışılacaktır. Ardından aradeğerleme hatasına giriş yapılacaktır.

A. MUTLAK ARADEĞERLEME HATASININ GENİŞLETİLMESİ

Özü itibari ile önerilen tersinir damgalama yöntemiyle veri ekleme yaklaşımı, bir çeşit histogram değiştirme yöntemidir. Görüntü için uygulanmış histogram değiştirme yöntemlerinden iki açıdan farklıdır:

- Veri ekleme için, piksel farkları veya öngörü hatası yerine, aradeğerleme hatası kullanılmaktadır.
- Aradeğerleme hatası, mutlak hataya çevrilerek damgalamaktadır.

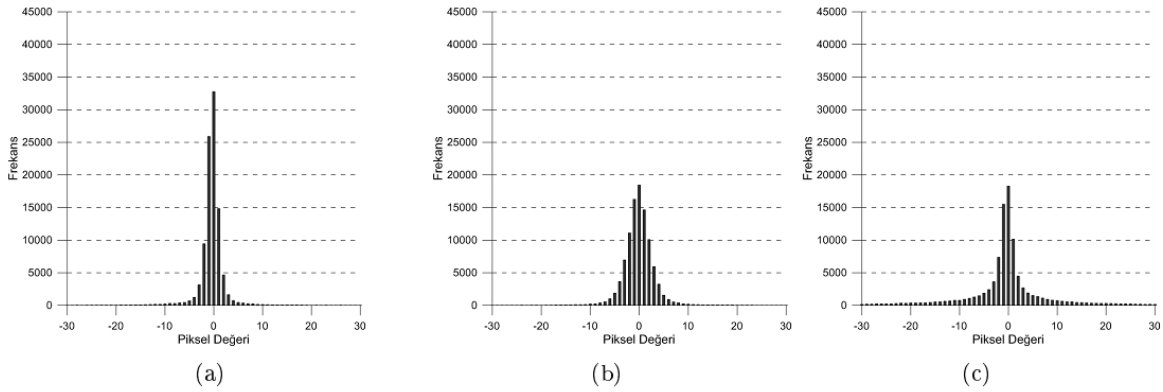
İlk olarak, görüntüdeki tüm pikseller aradeğerleme tekniği kullanılarak elde edilir. Örneğin bir pikselin aradeğeri kendisini çevreleyen diğer piksellerden hesaplanır. Ardından aradeğerleme hatası,

$$e = x - \hat{x} \quad (1)$$

denklemleriyle elde edilir. \hat{x} , x pikselinin aradeğerlenmiş değeridir. P , aradeğerleme hatasının tepe noktasını göstermek üzere,

$$P = \arg \max_{e \in E} hist(e) \quad (2)$$

denklemleri ile hesaplanır.

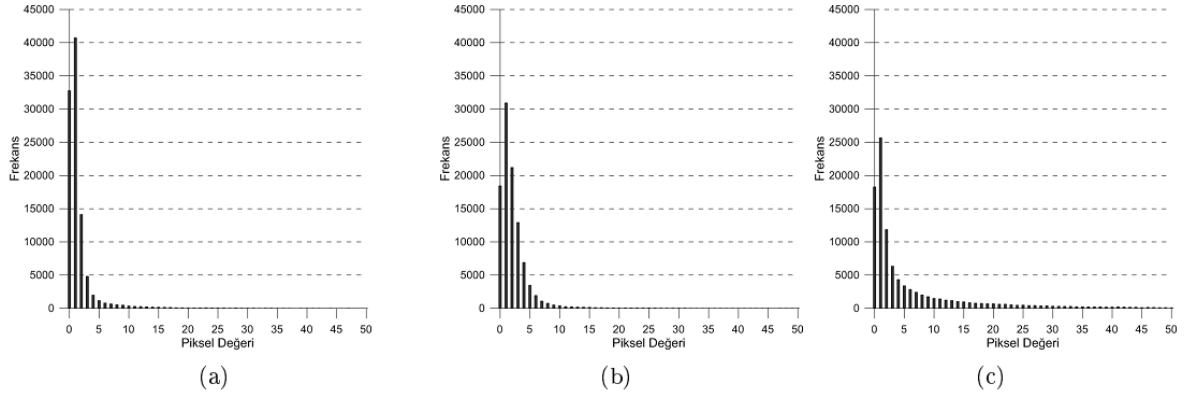


Şekil 2. Farklı üç görüntüye ait aradeğerleme hatası histogramları

E aradeğerleme hatasını ve $hist(e)$ ise aradeğerleme hatasının kaç kez e değerine eşit olduğunu göstermektedir. Şekil 2'de farklı üç görüntüye ait aradeğerleme hatası histogramı verilmiştir. Histogramın tepe noktası P , aynı zamanda kapasiteyi göstermektedir. Kapasiteyi artırabilmek için, aradeğerleme hatalarına mutlak değer alma işlemi (Eş. 3) uygulanmaktadır.

$$\bar{e} = |x - \hat{x}| \quad (3)$$

Şekil 3 mutlak alma işlemi sonucunda oluşan aradeğerleme hatalarının histogramlarını göstermektedir. Şekil 2 ve Şekil 3 karşılaştırıldığında, mutlak değer alma işlemi sonucunda histogramın tepe noktasının büyüdüğü görülmektedir. Dolayısıyla görüntüye eklenecek veri miktarı da artmaktadır.



Şekil 3. Farklı üç görüntüye ait mutlak aradeğerleme hatası histogramları

Mutlak aradeğerleme hatasının genişletilmesi denklem 4 ile sağlanmaktadır. $\bar{e} + 1$ işlemi ile histogram ötelenerek görüntüde boşluklar oluşturulmaktadır. $\bar{e} + b$ ile aradeğerleme hatası damgalanmaktadır.

$$e^w = \begin{cases} \bar{e} + 1 & , \bar{e} > P \\ \bar{e} + b & , \bar{e} = P \\ \bar{e} & , \text{diğer} \end{cases} \quad (4)$$

e^w , genişletilmiş aradeğerleme hatasını (damgalı aradeğerleme hatası), $b \in \{0,1\}$ 'de eklenen damgayı temsil etmektedir. Damgalı piksel değeri,

$$x^w = \begin{cases} \hat{x} + e^w & , x \geq \hat{x} \\ \hat{x} - e^w & , x < \hat{x} \end{cases} \quad (5)$$

denklemini ile elde edilir.

Bir sonraki kısımda anlatılacak olan aradeğerleme yönteminin ister orijinal ister damgalı görüntülere uygulanması ile aynı aradeğerlenmiş görüntüye ulaşılmaktadır. Bu şekilde görüntü orijinal haline geri döndürülebilmektedir. Yukarıda yapılan işlemlerin sondan başa doğru tersi işlemleri yapılarak orijinal görüntü geri elde edilir. Damga çıkartımı esnasında elde edilen \hat{x} 'in kullanılmasıyla damgalı mutlak aradeğerleme hatası denklem 6'dan geri elde edilir.

$$e^w = |x^w - \hat{x}| \quad (6)$$

Histogramın tepe noktası P 'nin bilinmesi ile birlikte eklenen damgalar

$$b = \begin{cases} 1 & , e^w = P + 1 \\ 0 & , e^w = P \end{cases} \quad (7)$$

denkleminde çıkarılır. Denklem 8'de verilen kural ile histogram öteleme işlemi geri alınır. Bu şekilde ara-değerlenmiş orijinal mutlak hata tekrar oluşturulur.

$$\bar{e} = \begin{cases} \hat{e} - 1 & , \hat{e} \geq P + 1 \\ \hat{e} & , \hat{e} < P + 1 \end{cases} \quad (8)$$

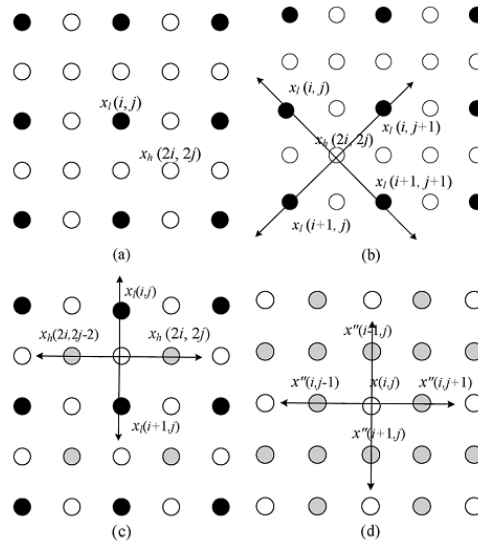
Son olarak orijinal video çerçevesi

$$x = \begin{cases} \hat{x} + \bar{e} & , x^w \geq \hat{x} \\ \hat{x} - \bar{e} & , x^w < \hat{x} \end{cases} \quad (9)$$

denklemleri ile hesaplanır.

B. GÖRÜNTÜ ARADEĞERLEME

Görüntü aradeğerlemesinde ilk önce bir görüntünün düşük çözünürlüklü değeri elde edilir. Daha sonra düşük çözünürlüklü görüntü, aradeğerleme işlemi ile yüksek çözünürlüklü haline geri döndürülür. Aradeğerleme için [16]'da bahsedilen yöntem kullanılmıştır. Konu ana hatları ile anlatılmıştır. Her ne kadar bu çalışma için [16] yöntemi kullanılsa da istenildiği takdirde önerilen tersinir görüntü damgalama için farklı aradeğerleme yöntemleri de kullanılabilir.



Şekil 4. (a) düşük ve yüksek çözünürlüklü görüntünün temsili; (b) ve (c) birincil piksellerin aradeğerinin belirlenmesi (d) ikincil piksellerin aradeğerinin belirlenmesi

Şekil 4'de 5x5 boyutlarında bir görüntü verilmiştir (beyaz ve siyah piksellere sahip). Şekil 4 (a)'da siyah pikseller düşük çözünürlüklü görüntüyü göstermektedir. Şekil 4 (b)'de bir pikselin aradeğeri kendisine çapraz komşu olan diğer dört pikselin ağırlıklarına göre elde edilir. Şekil 4 (c)'de elde edilen aradeğerlerle birlikte diğer piksellerin aradeğeri komşu piksel ağırlıklarına göre hesaplanarak görüntünün aradeğeri elde edilir. Dikkat edilecek olursa siyah piksellerin aradeğeri elde edilmemiştir. Orijinal değerleri ile görüntüde kalmaktadır. Şekil 4 (c) görüntüsü damga ekleme için kullanılabilir. Siyah pikseller haricindeki pikseller damga ekleme için aday piksellerdir. Tersinirlik için damga çıkartımında görüntünün damga eklemedeki aynı aradeğerine ihtiyaç duyulmaktadır. Siyah pikseller damga çıkartım aşamasında, damga ekleme esnasında hesaplanan aradeğer görüntüsünün aynısının elde edilmesinde kullanılabilir. Görüntüdeki siyah piksellerin damgalama için kullanılmaması kapasite yetersizliklerine sebep olabilir. Bu nedenle önerilen yöntemde siyah pikseller, damgalanmış piksellerin ara değerlenmişleri olarak damgalama için kullanılacaktır. Şekil 4 (d)'de siyah piksellerin aradeğeri

komşu piksellerin ağırlıklarına göre hesaplanır. Şekil 4 (a), (b) ve (c)'deki aradeğerlenmiş piksellere birincil pikseller, Şekil 4 (d)'de aradeğerlenen pikseller ikincil pikseller olarak adlandırılmıştır.

C. DAMGA EKLEME VE ÇIKARMA ALGORİTMLARI

Bu bölümde önerilen tersinir görüntü damgalama yönteminin adımları anlatılacaktır.

C.1. Yan Bilgi

Damgalı görüntüden orijinal görüntüyü ve damgayı geri elde etmek için alıcı tarafta bazı yan bilgilere ihtiyaç vardır. Yan bilginin içeriği genellikle; mutlak aradeğerleme hatalarının histogramının tepe noktası bilgisi, histogram öteleme ve damga ekleme sonucunda taşmaların olduğu piksellerin konum bilgisi ve diğer anahtar bilgilerden oluşmaktadır.

Önerilen yöntemde mutlak aradeğerleme hatası histogramının maksimum noktası P , damgalanabilecek pikselleri belirlemektedir. Ayrıca taşma yaşanan piksel konumları için bir dizi oluşturulacaktır.

Piksel değeri 8 bittten oluşan bir görüntünün damgalanması sonucunda bir pikselin değeri 0'dan -1'e veya 255'ten 256'ya değişebilir. Bu nedenle önerilen yöntemde değeri [1-254] arasındaki pikseller damgalanmaktadır. Damga çıkarma aşamasında değeri 0 ya da 255 olan piksellerin orijinal olup olmadığı yani damgalı olup olmadığının tespitinin yapılması gereklidir. Bu nedenle damga eklemede değeri 0 ve 255 olan pikseller için bir taşma konumu dizisi oluşturulmaktadır. $M \times N$ boyutlarındaki bir görüntünün bir pikselinin konumunu tutmak için $L = \lceil \log_2(M \times N) \rceil$ sayısı kadar bite ihtiyaç vardır. $\lceil x \rceil$ operatörü üst tam sayıya yuvarlama operatörüdür. Örneğin 512×512 boyutlarındaki görüntüdeki bir pikselin konumunu hafızada tutmak için $\lceil \log_2(512 \times 512) \rceil = 18$ bit uzunluğu gerekmektedir

Damgayı çıkarmak için damga eklemede elde edilen histogramın tepe noktası P 'nin değeri bilinmelidir. Örnek görüntülerde P en fazla 1 değerini almıştır. Bu nedenle P 'nin bitsel temsili 1 bit uzunluktadır. Eğer aradeğerleme histogramındaki maksimum değer daha yüksek değerde ise uygun bit uzunluğu histograma bakılarak karar verilmelidir.

Damga eklemede damganın eklendiği son pikselin konumu saklanmalıdır. Bu değer için L kadar bit gerekmektedir.

Yan bilgi sayıları;

- Histogramın tepe noktası (P); 1 bit ile,
- Taşma yaşanan piksel sayısı; L sayısı kadar bit ile, temsil edilir.

Yan bilgi uzunluğu C ,

$$C = 1 + L(3 + |O(p)|) \quad (10)$$

denklemden hesaplanır. $O(p)$, taşma olan pikselleri ifade etmektedir. $|x|$ operatörü, kümedeki eleman sayısını vermektedir.

C.2. Damga Ekleme

Önerilen tersinir damgalama algoritması, aradeğerleme ve damgalama olmak üzere başlıca iki kısımdan oluşmaktadır. Aradeğerleme aşamasında, Kısım II 2'de belirtilen yöntem ile görüntünün aradeğerine ulaşılmaktadır. Ardından aradeğerleme hatası oluşturulmaktadır. Damgalama da ise, aradeğerleme hataları HD yöntemi yardımıyla damgalanarak damgalı aradeğerleme hatası elde edilmektedir. Damgalama algoritmasının detayları aşağıda verilmiştir. W damga yükünü temsil etmek üzere damgalama aşağıdaki adımlardan oluşur:

1. Aradeğerleme algoritması (Kısım II.B) ile birincil piksellerin aradeğerine ulaşılır ve aradeğerleme hatası denklem 3'ten elde edilir.
2. Aradeğerleme hatası histogramı oluşturulur. Histogramın maksimum noktası bulunarak kapasite parametresi P belirlenir.
3. Görüntü belirli bir sırada taranarak (örnek olarak soldan sağa yukardan aşağıya) Kısım II.A'daki gibi W ile damgalanır. Eğer değeri 0 ile 255 olan piksellere karşılaşırsa bu pikseller damgalanmaz ve piksel konumları bitsel temsilde bir dizide saklanır. Damgalamanın bittiği piksel konumu bitsel temsilde bir değişkende saklanır ($sonkonum_1$).
4. Yan bilgilerin görüntüye eklenmesi için, yan bilgi miktarı C hesaplanır. Damgalı görüntüde ilk C kadar birincil pikselin en az anlamlı biti bir dizi olarak hazırlanır. Bu dizi adım 3'deki gibi damgalanır. Damgalamanın bittiği piksel konumu bitsel temsilde bir değişkende saklanır ($sonkonum_2$).
5. Yan bilgiler sırasıyla birincil piksellerin en az anlamlı biti ile yer değiştirilir.
6. Damgalı görüntü elde edilir.

Algoritmadan anlaşılacağı üzere iki aşamalı bir damgalama kullanılmıştır. İlk önce görüntüye, W damga yükü eklenmekte ardından yan bilgiler damgalanmaktadır. Ayrıca sadece birincil pikseller damgalama için kullanılmıştır. İstenildiği takdirde ikincil pikseller de algoritmada ufak değişikliklerle kullanılabilir. Karışıklığa engel olmak için burada bahsedilmemiştir. Ayrıca görüntünün bir kez damgalanmasıyla damganın hepsi görüntüye eklenmemiş olabilir. Bu nedenle çok seviyeli damgalama uygulanabilir. Bu durumda yan bilgi ve yan bilgi sayıları yeniden hesaplanmalıdır.

C.3. Damga Çıkartımı

Damga çıkartımı, damga eklemadaki aşamaların ters yönde uygulanması şeklindedir. İlk önce yan bilgilerin tespiti yapılır. Ardından iki aşamalı aradeğerleme ve damga çıkartımı uygulanır. Damga çıkartımı aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır:

1. Damgalı görüntüde C kadar birincil pikselin en az anlamlı biti bir dizi olarak hazırlanır ve yan bilgilere ulaşılır. Yan bilgiler sırasıyla histogramın tepe noktası P , taşma yaşanan piksel sayısı, taşma olan piksel konumları, damgalamaların bittiği $sonkonum_1$ ve $sonkonum_2$ 'dir.

2. Görüntünün $sonkonum_1$ 'den son $sonkonum_2$ 'ye kadar olan bölümündeki piksellerin aradeğeri hesaplanır. Ardından aradeğerleme görüntüsü oluşturulur. Kısım II.A'da belirtilen damga çıkartım algoritması ile bu bölümdeki damga (bit dizisi) çıkarılır.
3. Önceki adımda elde edilen bit dizisi, görüntünün başlangıcından itibaren C kadar birincil pikselin en az anlamlı biti ile yer değiştirilir. Damgalı orijinal görüntüye ulaşılmış olur.
4. Görüntünün başlangıcından $sonkonum_1$ 'e kadar olan bölümündeki piksellerin aradeğeri hesaplanır. Yan bilgiden elde edilen taşma konumları dikkate alınarak Kısım II.A'da belirtilen damga çıkartım algoritması koşutularak damgaya ve orijinal çerçeveye ulaşılır.

III. BULGULAR ve SONUÇLAR

Önerilen yöntem, içeriği karmaşık olan Baboon görüntüsü ile histogramı düzenli olan Lena görüntüsüne uygulanmıştır. Damga ekleme ve damga çıkartımı sonrasında elde edilen görüntünün orijinal görüntüye eşit olması önerilen yöntemin doğruluğunu ispatlamaktadır. Deneysel çalışmalarda rastgele oluşturulan damga yükleri hazırlanmış ve görüntü damgalanmıştır. Yöntemin başarı kriteri olarak, kapasitesini ve kalitesini gösteren piksel başına bit miktarı (bpp) ve işaret gürültü oranı (PSNR) kullanılmıştır. Piksel başına bit miktarı;

$$bpp = \frac{T}{M \cdot N} \quad (11)$$

ile hesaplanır. T , M ve N , sırasıyla görüntüye eklenen toplam bilgi miktarını (toplam bit sayısı), görüntünün en ve boy oranlarını temsil etmektedir. İşaret gürültü oranı ise;

$$PSNR = 10 \log \left(\frac{255^2}{MSE} \right) \quad (12)$$

formülünden elde edilir. MSE ortalama karesel hatadır. Test görüntüleri gri seviye (8 bit) ve boyutları 512x512 olarak seçilmiştir.

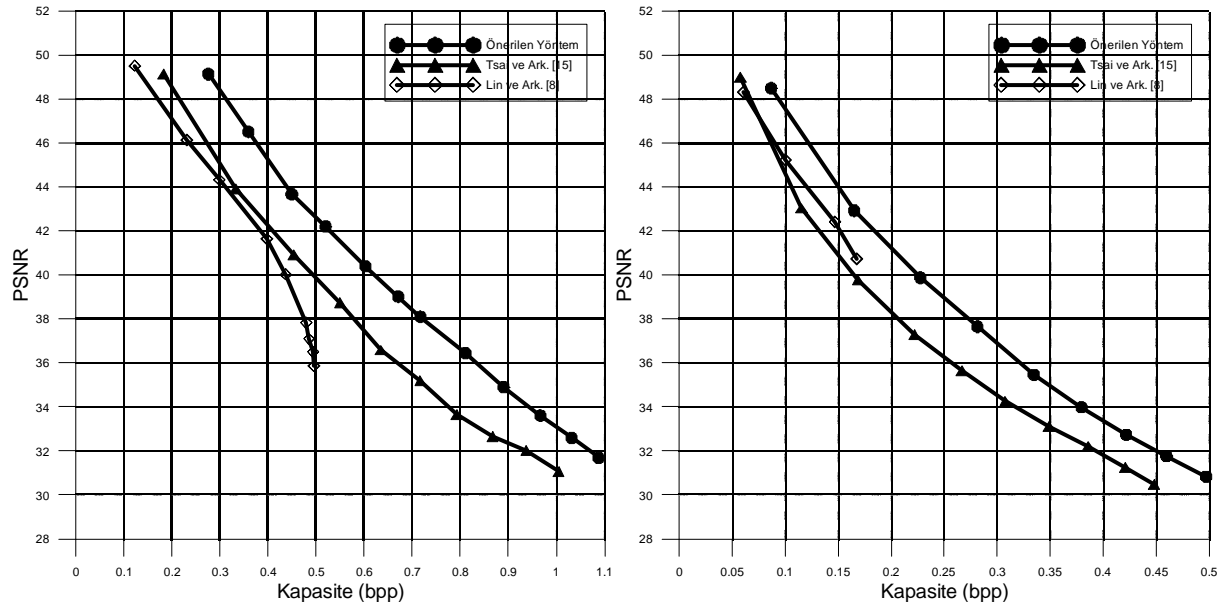
Görüntünün tek seviyeli ve her pikselin 1 biti ile damgalandığı farz edilirse, görüntü kalitesinin en az $10 \log(255^2) = 48,13db$ olacağı görülmektedir. Tablo 1'de, histogram ötelemeye dayalı [11] ve [13] yöntemleri ile önerilen yöntemin kapasite ve PSNR sonuçları verilmiştir.

Tablo 1. Lena ve Baboon Görüntüleri için Kapasite (bit sayısı) ve PSNR Sonuçlarının Karşılaştırılması

Yöntem	Lena Görüntüsü		Baboon Görüntüsü	
	Kapasite	PSNR	Kapasite	PSNR
Yöntem [11]	5,460	48,20	5,421	48,20
Yöntem [13]	59,900	46,60	19,130	47,61
Önerilen Yöntem	72,562	48,23	22,338	48,65

Tek seviyeli damgalamada önerilen yöntemin üstün olduğu görülmektedir. Görüntülere eklenen bilgi miktarı yüksek olmasına rağmen görüntü kalitesinin korunduğu tespit edilmiştir.

Yüksek kapasite değerlerine ulaşabilmek için önerilen yöntem çok seviyeli olarak uygulanabilir. Çok seviyeli damgalama durumunda Kısım III’de önerilen algorithmada yan bilgilerin belirlenmesi ve görüntüye eklenmesi gereklidir. Çok seviyeli değerlendirme için [8] ve [15] yöntemleri başarı ölçütü için kullanılmıştır. Şekil 5’te iki görüntü için aynı kapasitede önerilen yöntemin daha iyi görüntü kalitesi verdiği belirlenmiştir. Başka bir ifadeyle, aynı görsel kalitede görüntülere daha çok bilgi eklenmiştir.



Şekil 5. (a) Lena (b) Baboon görüntülerinin çok seviyeli olarak damgalama sonuçları

IV. TARTIŞMA

Bu çalışmada bir tersinir görüntü damgalama algoritması geliştirilmiştir. Diğer tersinir görüntü damgalama algoritmalarından farklı olarak aradeğerleme tekniği kullanılarak görüntülerde aradeğerleme hatası olarak adlandırılan boşluklar oluşturulmuştur. Kapasiteyi arttırabilmek amacıyla aradeğerleme hatası, mutlak değer alma işlemine tabi tutulmuştur. Böylece kapasite arttırılmıştır. Mutlak aradeğerleme hataları bir çeşit histogram değiştirme yöntemi ile damgalanmıştır. Sonuç olarak yüksek kalitelerde bile görsel kalitenin korunduğu bir yöntem sunulmuştur.

Ayrıca diğer tersinir görüntü yöntemlerinden farklı olarak yan bilgilerin damgalanması için sınır haritaları oluşturulmamıştır. Yan bilgiler başarıyla görüntüye eklenmiş ve tekrar geri elde edilmiştir.

Yöntemin kapasitesini arttırabilmek için çeşitli iyileştirmeler sunulabilir. Örneğin adaptif bir yöntem ile görüntüde durağan bölgeler birkaç kez; diğer bölgelerin bir kez ya da hiç damgalanmaması ile başarıyı yüksek yöntemler geliştirilebilir.

V. KAYNAKLAR

- [1] C.I. Podilchuk, E.J. Delp *IEEE Signal Processing Magazine* **18(4)** (2001) 33.
- [2] G. Langelaar, I. Setyawan, R. Lagendijk *IEEE Signal Processing Magazine* **17(5)** (2000) 20.
- [3] J. Fridrich, M. Goljan, R. Du *EURASIP J. Appl. Signal Process.* **2002(2)** (2002) 185.
- [4] M.U. Celik, G. Sharma, A.M. Tekalp, E. Saber *IEEE Trans. Image Process.* **14(2)** (2005) 253.
- [5] J. Tian *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.* **13(8)** (2003) 890.
- [6] A.M. Alattar *IEEE Trans. Image Process.* **13(8)** (2004) 1147.
- [7] H.J. Kim, V. Sachnev, Y.Q. Shi, J. Nam, H.G. Choo *IEEE Trans. Inf. Forensic Security* **3(3)** (2008) 456.
- [8] C.C. Lin, S.P. Yang, N.L. Hsueh *Lossless data hiding based on difference expansion without a location map*, **2008 Congress on Image and Signal Processing**, Sanya, Hainan-Çin, (2008) 8.
- [9] Y. Hu, H.K. Lee, J. Li *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.* **19(2)** (2009) 250.
- [10] L. Luo, Z. Chen, M. Chen, X. Zeng, Z. Xiong *IEEE Trans. Inf. Forensics Security* **5(1)** (2010) 187.
- [11] Z. Ni, Y.Q. Shi, N. Ansari, W. Su *Trans. Circuits Syst. Video Technol.* **16(3)** (2006) 354.
- [12] J. Hwang, J.W. Kim, J.U. Choi *A reversible watermarking based on histogram shifting*, **Int. Workshop on Digital Watermarking, Lecture Notes in Computer Science** , Jeju Island-Korea, (2006) 348.
- [13] C.C. Lin, N.L. Hsueh *Pattern Recognition*, **41(4)** (2008) 1415.
- [14] K.S. Kim, M.J. Lee, H.Y. Lee, H.K. Lee *Pattern Recognition* **42(11)** (2009) 3083.
- [15] P. Tsai, Y.C. Hu, H.L. Yeh *Signal Processing* **89(6)** (2009) 1129.
- [16] L. Zhang, X. Wu *IEEE Trans. Image Process.* **15(8)** (2006) 2226.