Pamukkale Univ Muh Bilim Derg, 28(5), 761-768, 2022

Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi

Pamukkale University Journal of Engineering Sciences

Videolarda kenar algılamaya dayalı çerçeve tekrarlama sahteciliği tespiti

Duplicated frame forgery detection in videos based on edge detection

Işılay BOZKURT[1*], *Güzin ULUTAŞ*[2]

[1]Yazılım Mühendisliği, Teknoloji Fakültesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye.
isilaybozkurt@ktu.edu.tr

[2]Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye.
gulutas@ktu.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 02.09.2020 Düzeltme Tarihi/Revision: 20.09.2021 doi: 10.5505/pajes.2021.88393
Kabul Tarihi/Accepted: 01.11.2021 Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Videoların güvenilirliğinin denetlenmesi, son yılların önemli konularından biridir. Videoların güvenilirliğinin tespiti için üzerlerinde yapılan bu değişikliklerin araştırılması gerekmektedir. Videolar üzerinde; bir olayın veya bir nesnenin gizlenmesi amacıyla oynama yapılmaktadır. Bu çalışmada video çerçeveleri arasında yapılan tekrarlama sahteciliğinin tespitine yönelik yeni bir yöntem önerilmiştir. Geliştirilen yöntem üç aşamadan oluşmaktadır. İlk olarak çerçevelerden çıkarılan kenar bilgisi ile özellik vektörleri elde edilmektedir. Sonra özellik vektörlerinin çerçeve grupları arasındaki korelasyon bilgisine dayalı benzerlik analizi yapılmakta; son olarak elde edilen yanlış pozitif konumların elenmesi gerçekleştirilmektedir. Yüksek doğruluk oranına sahip; videonun sahte veya orijinal olduğuna otomatik olarak karar verebilen yeni bir yöntem ile literatüre katkıda bulunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Pasif sahtecilik, Tekrarlama sahteciliği, Video sahteciliği.

Abstract

Inspection of the reliability of videos is one of the most important issues in recent years. In order to determine the reliability of the videos, the changes made on them should be investigated. Editing can be made on the videos to hide an event or an object. In this study, a new method for the detection of duplication fraud, between video frames is proposed. The developed method consists of three stages. First of all, feature vectors are obtained with the edge information extracted from the frames. Then, similarity analysis is performed based on the correlation information between the frame groups of feature vectors. Finally, the false positive locations obtained are eliminated. A new method that can automatically decide whether the video is fake or original with high accuracy has been contributed to the literature.

Keywords: Passive forgery, Duplication forgery, Video forgery.

1 Giriş

Günümüzde sıklıkla kullanılan video düzenleme yazılımları çoğunlukla videoların kalitesini iyileştirme ya da içeriklerini daha dikkat çekici hale dönüştürme amacında olsalar da bazen kötü niyetli kişiler tarafından yanlış yargılar oluşturmak amacıyla kullanılabilmektedirler. Gerçekleştirilen değişimlerin, izleyen kişiyi yanıltma veya aldatma amacıyla yapıldığı düşünülen şüpheli videolar, sahtecilik tespitinin konusu haline gelmektedir. Böyle durumlarda şüphelenilen videoların, değişime uğrayıp uğramadıklarının ve üzerlerinde ne tür bir değişim yapıldığının tespit edilmesi gerekmektedir.

Videolar üzerinde yapılan sahtecilik tespit teknikleri aktif ve pasif teknikler olarak sınıflandırılmaktadır [1]. Pasif teknikler videoların istatiksel özelliklerini kullandıkları ve ayrı bir ön işlem gerektirmedikleri için araştırmacılar tarafından daha çok kullanılan tespit teknikleridir. Pasif sahtecilik tespit teknikleri yapılan sahtecilik işlemlerine göre çerçeveler arası ve çerçeve içi tespit teknikler olarak incelenmektedirler [2]. Sahteciliği yapan kişiler için yapılabilecek en kolay ve hızlı sahtecilik işlemleri ise çerçeveler arası yapılan sahteciliklerdir.

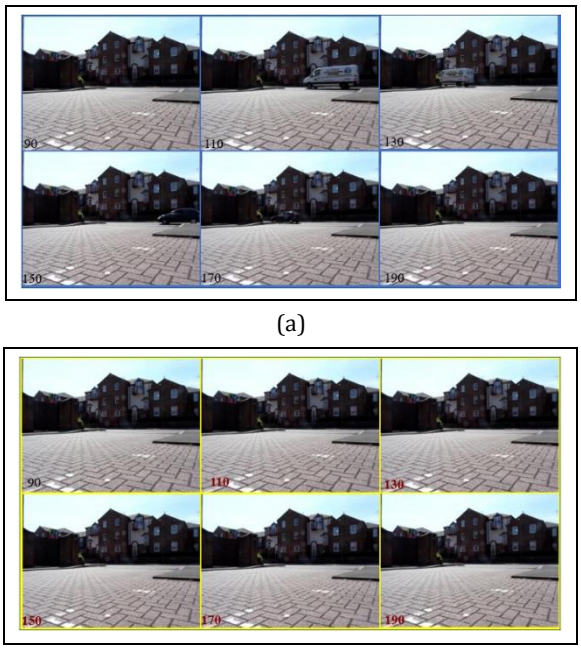
İnsan gözünün videodaki bir hareketi algılayabilmesi ve videoda bir akışın oluşabilmesi için mevcut sahnedeki hareketlerin en az birkaç çerçeveden oluşması gerekmektedir. Çerçeve içi sahtecilik yapılacağı zaman, gerçekleştirilen işlemin kolaylıkla fark edilmemesi ve akışın oluşabilmesi için hareketin bulunduğu tüm çerçevelerde aynı sahteciliğin uygun şekilde yapılması gerekir. Bu durum sahtecilik yapmayı zorlaştırmaktadır. Bu nedenle videolarda sahtecilik yapmak isteyen kişiler genellikle çerçeveler arası sahteciliği tercih etmektedirler.

Çerçeveler arası sahtecilik işlemleri; mevcut videonun çerçevelerini silme, farklı videolardan ekleme yapma veya ilgili videonun çerçevelerinin bir kısmının kopyalanarak diğer kısımlarına yapıştırılması; şeklinde gerçekleştirilebilir. Şekil 1'de çerçeveler arası sahtecilik tespit tekniklerine örnek olarak, SULFA veri tabanından alınmış "can_220_street" videosuna ait görseller verilmiştir [3]. Görsel üzerindeki orijinal çerçeve numaraları siyah renkli, sonradan oluşan çerçeve numaraları ise kırmızı renkli olarak gösterilmiştir. Şekil 1(a) sahnede iki kez görülmesi istenen arabaların, bulunduğu çerçevelerin (90. ve 185. çerçeveler arası) orijinal konumları gösterilmektedir. Şekil 1(b)'de arabaların bulunduğu çerçeveler, ilgili arabaların bulunduğu kaynak kısımdan kopyalanarak (300. çerçeveden sonra) eklenerek yapıştırılmış ve ilgili arabaların yoldan iki kez geçtiği algısı oluşturulmuştur. Görseldeki olayda toplam çerçeve sayısı kopyalanan çerçeve sayısı kadar artırılmıştır.

Son yıllarda geliştirilen güvenlik sistemleri sayesinde suçların ortaya çıkarılması ve caydırıcılık etkisinden dolayı özellikle de video kayıtlarına olan ilgi artmıştır. Trafikte arabalara yerleştirilen takip kameraları sayesinde, kazaların nedenini bulmak için de video kayıtlarından faydalanılmaktadır. Kaydedilen trafik videolarının değiştirilmesi ve mevcut olayın

*Yazışılan yazar/Corresponding author

kapatılması düzenleme yazılımları ile uzmanlık gerektirmeden kolaylıkla yapılabilmektedir. Günlük hayatta kullanımının artması araştırmacıları videolar üzerine yapılan çalışmalara yönlendirmektedir.



(a)

(b)

Şekil1(a). Orijinal çerçeveler. (b). Sahte çerçeveler.

Figure 1(a). Original frames. (b). Forgery frames.

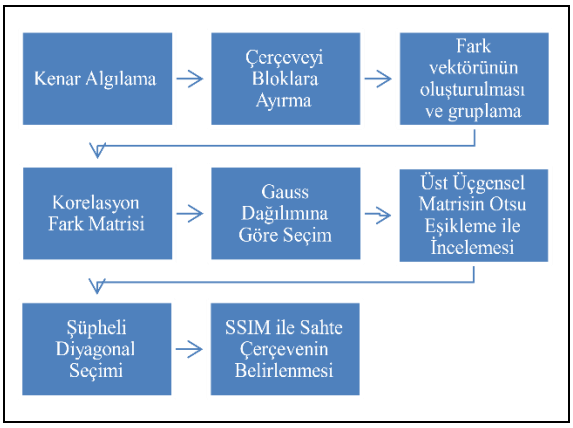
Videoların güvenilirliğini test eden sahtecilik alanında da video sahteciliğine olan ilgi paralel olarak artmıştır. Wang ve diğ. optik akış ve anomali tespitlerini kullanarak üç tür sahteciliğe çözüm sunmuşlardır [4]. Yapılan çalışmada sahte videoların optik akış özelliklerinde meydana gelen kopukluklardan faydalanmışlardır ancak çalışma uygulanma süresi bakımından çok fazla zaman almaktadır. Zheng ve diğ. yerel ikili örüntü (LBP) algoritması ile çıkardıkları çerçeve özelliklerinin korelasyonlarına göre ekleme ve silme sahteciliğini tespit etmişlerdir [5]. Ancak tekrarlama sahteciliğine çözüm bulamamışlardır. Liu ve Huang video çerçevelerini üç boyutlu RGB uzayından iki boyutlu renksel uzaya Zernike momentlerini kullanarak, korelasyon özelliklerinin anomali kısımlarını kullanmışlardır [6]. Sonrasında ise Tamura özellikleri ile kabadan inceye doğru bir araştırma yapmışlardır. Bakas ve diğ. çerçevelerden çıkarılan gri seviye eş oluşum matrislerinin (GLCM) Haralick özelliklerini çıkarmışlardır [7]. Özellik vektöründeki anomalileri hesaplayarak çerçeve düzeyinde ekleme, silme ve tekrarlama sahteciliğine çözüm sunmuşlardır. Fadl ve diğ. yönlendirilmiş gradyan histogramlarını ve her bir sahneden elde edilen hareket enerji görüntülerini kullanarak çerçeveler arası sahteciliklere çözüm sunmuşlardır [8]. Bahsedilen bu yöntemler içerisinde [8] No.lu çalışma diğer çalışmaları referans olarak almış ve kesinlik ile seçicilik bakımından daha iyi sonuçlar rapor etmişlerdir. Ulutaş ve diğ. tekrarlama sahteciliğine LDB algoritmasına dayalı çözüm önerisi sunmuşlardır [9]. Yöntem hızlı çalışan bir yöntem olmakla beraber farklı boyutlarda videolar üzerinden test gerçekleştirilmemiştir. Ayrıca yöntem sabit kameralı hareketin az olduğu videolar üzerinde çalışmamaktadır. Amaçlanan yöntem Fadl ve diğ. ve Ulutaş ve diğ. yaptığı çalışma ile ortak videolar kullanılarak kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçların kıyaslanan çalışmalara göre daha iyi doğruluk oranı verdiği gözlemlenmiştir. Yöntem daha sonra çeşitli veri tabanları üzerinden denenerek, elde edilen bulgular rapor edilmiştir.

Bu çalışma ile çerçeve düzeyinde tekrarlama sahteciliğin tespiti için yeni bir çözüm önerisi sunulmuştur.

Çalışmanın ikinci bölümünde gerçekleştirilen yöntemin adımları açıklanmıştır. Üçüncü bölümde bulgular ifade edilmiştir. Dördüncü bölümde yapılan çalışma sonuçlandırılmıştır.

2 Materyal ve metot

Videolarda yapılan pasif sahteciliklerden biri olan tekrarlama sahteciliğine bu çalışma ile otomatik bir çözüm önerisi sunulması amaçlanmıştır. Yapılan çalışma ile ilk olarak videoyu oluşturan çerçevelerden istatiksel özellikler çıkarılmıştır. İkinci olarak elde edilen aday noktalardan yanlış olanlar elenerek tam konum elde edilmiştir. Yapılan çalışmaya ait algoritmik akış Şekil 2'de gösterildiği gibidir.



Şekil 2. Algoritmanın genel adımları.

Figure 2. Main steps of the algorithm.

Şekil 2 incelendiğinde Kenar algılama, bloklara ayırma fark vektörü ve gruplama, korelasyon fark matrisi adımları ile özellik çıkarımı yapılmıştır. Gauss dağılımına göre seçim, üst üçgensel matrisin incelenmesi ve şüpheli diyagonal seçimi aşamaları, özellikler arasından, sahte çerçeve konumları eşleşmeleri hakkında bilgi verecek aday doğrusunu elde etmek için uygulanmaktadır. Son adım ise sahte çerçevelerin kesin olarak belirlendiği kısımdır. Son adımın detayları kısım 2.2'de ifade edilmiştir.

2.1 Özellik matrisinin çıkarılması

Hazırlanan algoritmada öncelikle videolar çerçevelerine ayrılarak YCbCr renk kanallarından parlaklık bilgisi alınmıştır. Sonrasında Canny ve LoG algoritmaları ile kenar bilgisi çıkarılmıştır [10]. Canny ile kenar algılarken köşe noktaları ve birleşim noktalarının algılanması yetersiz kalmaktadır. Dolayısıyla görüntüde bükülme (sıfır geçiş) noktalarının bulunmasında Gauss'un ikinci türevini kullanan LoG algoritması da kullanılmıştır. Çıkarılan kenar bilgisi morfolojik genleşmeye tabi tutulur. Elde edilen kenar bilgisine ait görsel Şekil 3'te gösterilmiştir.

V olarak adlandırılan k (446) adet çerçeveden oluşan $\{F_1, F_2, F_3, \dots, F_k\}$ 240×320 boyutlarına sahip bir video ele alındığı düşünülsün. Videoda her çerçeve örtüşmeyen bloklara ayrılır.

Şekil 3'te $\{C_1, C, C_3, \ldots, C_k\}$ ile videonun çerçeveleri ifade edilmektedir. Şeklin devamında bu çerçevelerden örnek olarak ilk ikisi yani C_1 ve C_2 çerçeveleri ele alınmakta ve bu çerçeveler örtüşmeyen bloklara ayrılmaktadır. Tüm çerçevelerde sırayla yapılacak olan işlemler bu iki çerçeve üzerinden örnek olarak açıklanmıştır.



Şekil 3. Canny ve LoG kenar algılama tekniklerinin birlikte kullanımı.

Figure 3. Combining Canny and LoG edge detection techniques.

Çerçevelerin boyutları 240x320 olduğundan C_1 ve C_2 çerçevesi 12×16'lık örtüşmeyen $\{B_{1,1}, B_{1,2}, B_{1,3} \ldots, B_{1,400}\}$ bloklara ayrılarak 400 blok elde edilmiştir. Şekil 3'te C_1 ve C_2 çerçevelerinden her ikisinin de ilk bloğu ok ile ayrıştırılmış ve B_1 olarak gösterilmiştir. Daha sonra birinci çerçevenin (C_1) birinci bloğu ile ikinci çerçevenin (C_2) birinci bloğu, Eşitlik 1'deki gibi XOR işlemine tabi tutulur.

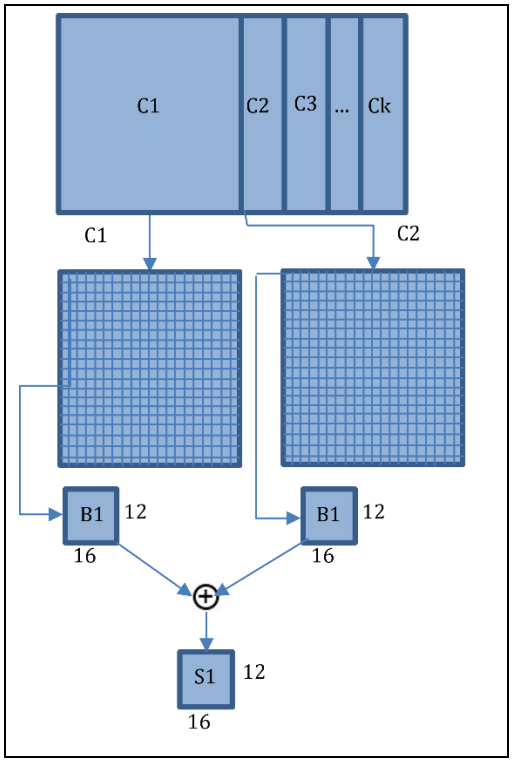
$$S_1 = B_1^1 \oplus B_2^1 \tag{1}$$

S1 olarak ifade edilen XOR çıktısının elde edilmesine ait grafik Şekil 4(a)'da gösterilmektedir. Şekilde C ile ifade edilen değerler çerçeveleri göstermektedir. Ardışık iki çerçeve ele alınır ve her çerçevenin eş blokları işleme girer. Bu işlem sırasıyla çerçevelerin *2.,3., ..., 400.* blokları için de gerçekleştirilmektedir Her bir S matrisinin içeriği Şekil 4(b)'deki gibi 0 ve 1'lerden oluşmaktadır. S matrislerinin satır ve sütun toplamları alınarak özellik vektörleri elde edilir. S_t matrisinin satır ve sütunlarının toplamı Eşitlik 2'deki gibidir. Burada t değişkeni blok numarasını ifade etmektedir.

$$S_t = \sum_{j=1}^{16} \sum_{i=1}^{12} x \tag{2}$$

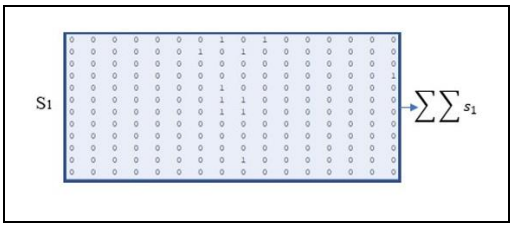
Her iki çerçeve arasındaki toplam 400 adet S matrisinin toplam değerleri, bu iki vektör arasındaki özellik vektörünü temsil etmektedir. Örnek video 446 çerçeve içermektedir. Fs özellik matrisi ardışık çerçeve blokları arasındaki XOR farklarının toplamlarını içermektedir. Şekil 4(c)'deki örnekte, Fs matrisinin her bir sütunu toplam blok sayısı olan 400 adet değer içerdiği görülmektedir. Bu değerler S matrisinin toplamlarından oluşur. Satır sayısı ise toplam çerçeve sayısının 1 eksiği olan 445'tir. Bunun nedeni her bir çerçevenin sırayla bir sonraki çerçeve ile eşleştirilmesidir. Dolayısıyla matrisin satırları çerçeveler arası fark özelliğini temsil etmektedir.

Her çerçeveden çıkarılan özellik değeri bir sonraki çerçeveyle kıyaslandığı zaman ard arda gelen bu çerçeveler özellikle sabit sahneli videolarda çok benzer çıkabilmektedir. Dolayısıyla sahte videolardan ardışık çerçeveleri ayırmak için yeterli ayırt edicilik sağlanamamaktadır. Ancak videolarda saniyede yaklaşık 25-30 çerçeve bulunduğundan, sahteciliğin tekil çerçeveler arasında yapılması beklenmez. Bu düşünceye dayanarak özellik vektörlerini birebir benzerliği yerine, ardışık çerçeve gruplarının özelliklerinin benzerliğini öne çıkarmak amacıyla gruplandırma yapılmıştır. Böylece iki çerçeve farkı yerine çerçeve gruplarının farkı incelenmiş olacaktır. Gruplar arası farklılığı tespit edebilmek için örtüşen gruplar arası Pearson korelasyonları hesaplanmıştır. Hesaplanan korelasyon katsayılarının farklarının görüntüsü Şekil 5'teki gibidir.



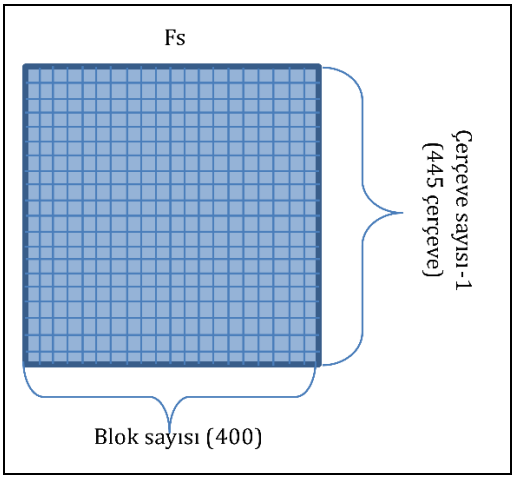
Şekil 4(a). XOR matrisinin (S_1) oluşturulması.

Figure 4(a). Construction of the XOR matrix (S_1).



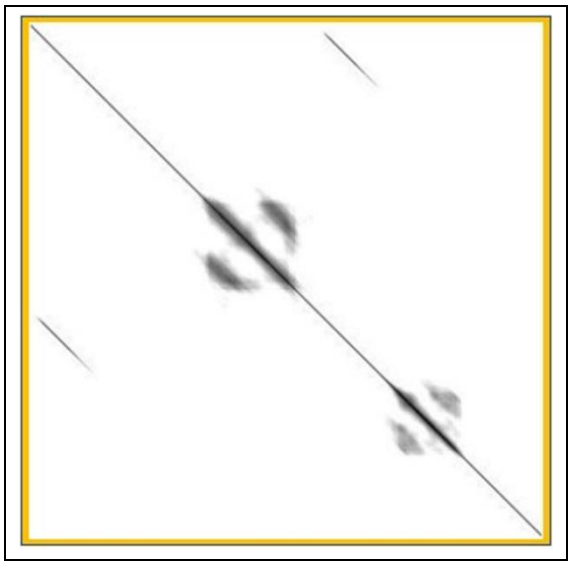
Şekil 4(b). Örnek XOR matrisi içeriği.

Figure 4(b). Example XOR matrix contents.



Şekil 4(c). Özellik matrisi boyutları.

Figure 4(c). Dimensions of a feature matrix.



Şekil 5. Korelasyon fark matrisi görüntüsü.

Figure 5. Correlation difference matrix image.

Şekil 5'teki matrisin boyutları toplam çerçeve sayısı ile grup sayısının farkı kadardır. Burada korelasyon değerleri bulunduğu için; birbirine çok yakın veya aynı korelasyon değerine sahip özellik gruplarının farkı sıfır ya da sıfıra yakın çıkmaktadır. Şekil 5 korelasyon matrisinin görselleştirilmiş halidir. Bu nedenle Şekil 5 üzerinde siyah renkli kısımlar bu farkların sıfıra yakın olduğu kısımları göstermektedir. Korelasyon fark matrisi üzerindeki köşegen oluşturan siyah piksel değerleri, sahte olarak nitelendirebilir aday korelasyon eşleşmelerini göstermektedir. Kopyalanan ve yapıştırılan çerçeveler arası fark sabit olduğundan, sahte çerçevelerin korelasyon görüntüsü üzerinde 45°'lik bir doğru oluşturması beklenir. Örneğin 10 ile 20. çerçeveler arası, 30 ile 40. çerçeveler arasında tekrarlandığı düşünülürse; 10 ile 30 No.lu çerçeveler, 11 ile 31 No.lu çerçeveler, 12 ile 32 No.lu çerçeveler, …, 20 ile 40 No.lu çerçeveler eşleşecek ve aradaki fark her zaman 20 olacaktır. İki noktası bilinen doğru eğimi denklemi Eşitlik 3.'te gösterildiği gibidir. Bu eşitlikten yola çıkarak bu noktaların -45°'lik açı ile birbirine denk geldiği görülmektedir.

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \tag{3}$$

Özellik matrisi görüntüsünde gürültü olan kısımlar elendikten sonra -45°'lik açı yapan köşegenler taranmaktadır.

Pearson korelasyonun hesaplanması Eşitlik 4'te gösterilmiştir. Pearson korelasyonu iki değişken arasındaki lineer ilişkinin ölçülmesinde kullanılan istatiksel bir ölçüttür [11]. Burada amaç x ve y ile gösterilen değerlerin doğrusal biçimde ne kadar tutarlılık gösterdiğini ifade eder. Pearson korelasyonu değişkenlerin lineer bir dağılım sergiledikleri için hesaplamalarda kullanılmıştır [12]. Eşiktlikte $\bar{x}$ ile $\bar{y}$ değerleri, x ve y verilerinin ortalamalarını ifade etmektedir.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2}} \tag{4}$$

Korelasyon fark matrisi görüntüsü oluşturulmasının sebebi bu görüntü üzerinden sahtecilik yapılan eşleşmelerin yani çizginin tespit edilmesidir. Bu amaçla görüntü üzerindeki piksellerin diğer bir deyişle yüksek korelasyonlu çerçeve eşleşmelerinin elenmesi sağlanmıştır. Korelasyondan yararlanarak yanlış eşleşmelerin elenmesi, doğru bölgenin seçilmesi sağlanmıştır.

- Olasılık yoğunluk fonksiyonundan yararlanarak eleme,
- Otsu algoritmasından faydalanarak otomatik eşik tespitiyle eleme,
- Diyagonal elemanların incelenmesi ile bölge seçimi,

2.2 Olasılık yoğunluk fonksiyonu yardımıyla eleme

Görüntü üzerindeki tüm noktaların hatalı kısımların elenmesi için öncelikle Gauss dağılımı ile olasılık yoğunluk fonksiyonu çıkarılmıştır. Gauss dağılımı formülü Eşitlik 5' de verilmiştir.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}, (x \in R) \tag{5}$$

Korelasyon matrisinin ortalama (μ) ve standart sapması (σ) kullanılarak normal dağılımı hesaplanmaktadır. Görüntü, korelasyon farklarından oluştuğu için farkın sıfır olduğu değerler birbirine en çok benzeyen çerçeve gruplarını; yani olası tekrarlanan sahte çerçevelerimizi göstermektedir. Sıfır olmayan yüksek korelasyon değerleri ise orijinal video çerçevelerini göstermektedir. Şekil 5'te görüldüğü gibi birbiriyle ilişkisiz kısımlar videonun çoğunluğunu oluşturmaktadır. Dolayısıyla bunlar elenerek kalan kısımlar üzerinde arama yapılır. Bu doğrultuda Eşitlik 5. kullanılarak elde edilen normal dağılım üzerinden her bir pikselin yani çerçeve eşleşmesinin olasılık değeri bulunur. Bulunan olasılık değerleri içerinde en yüksek olasılığa sahip yüzde onluk kısmı incelenmek üzere seçilir. Diğer eşleşmeler elenir. Sonraki aşamada da görüntü üzerinde işlem yapılacağından eleme işlemi, elenecek değerlere maksimum piksel değeri atanarak yapılmaktadır. Bu sayede bu eşleşmeler sonraki adımda dikkate alınmayacaktır.

2.3 Otsu algoritmasından faydalanarak otomatik eşik tespitiyle eleme

Sonraki aşamada görüntü ikili hale getirilmiştir. İkili hale getirmek için Otsu algoritması kullanılmıştır. Otsu algoritmasını eşiği bulması için görüntünün en küçük değerli yarı kısmı verilmiştir. Diğer yarısı bir önceki aşamada olduğu gibi maksimum değerli kısımlardan oluşacağı için alınmamıştır.

Otsu algoritması ile temel olarak ön plan ve arka plan ayrışımı yapılmaktadır. Bu ayrışım sayesinde ön plan pikselleri sahtecilik aday eşleşmesi arka plan pikselleri de sahtecilik olmadığı belirlenmiş çerçeve eşleşmelerini işaret edecektir.

Bu ayrımı yaparken Otsu yöntemi, sınıf içi varyansı minimize, sınıflar arası varyansı ise maksimize etmeye çalışır. Eşitlik 6'da sınıf içi varyans ifade edilmiştir. Burada w_b, w_f ağırlıkları, t iki sınıfa ait olasılıkları göstermektedir. σ_b^2 *ve* σ_f^2 sınıf varyanslarını göstermektedir.

$$\sigma_w^2 = w_1(t)\sigma_1^2(t) + w_2(t)\sigma_2^2(t) \tag{6}$$

Ağırlık değerleri $w_1(t)$ ve $w_2(t)$ arka plan (background-b) ve ön plan(foreground-f) sınıflarında histograma ait L tane piksel değeri için Eşitlik 7- 8 ile hesaplanmaktadır.

$$w_1(t) = \sum_{i=0}^{t-1} p(i) \tag{7}$$

$$w_2(t) = \sum_{i=t}^{L-1} p(i) \quad (8)$$

Sınıflar arası varyans değeri için Eşitlik 9 kullanılır. Burada formülün sadeleştirilmiş hali gösterilmektedir.

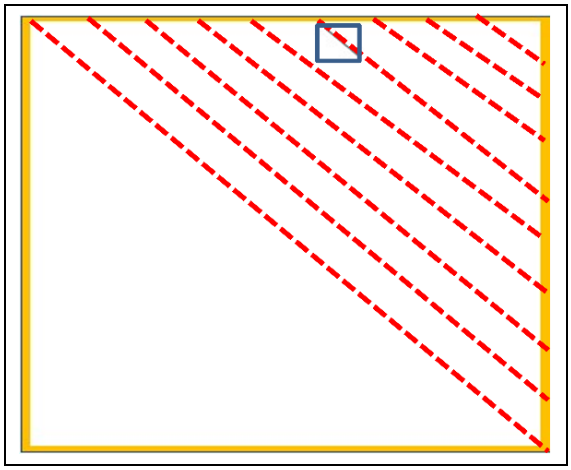
$$\sigma_b^2(t) = w_0(t)w_1(t)(\mu_0(t) - \mu_1(t))^2 \quad (9)$$

Eşitlik 10- 11 ile de sınıf ortalamaları hesaplanmaktadır.

$$\mu_0(t) = \frac{\sum_{i=0}^{t=1} ip(i)}{w_0(t)} \quad (10)$$

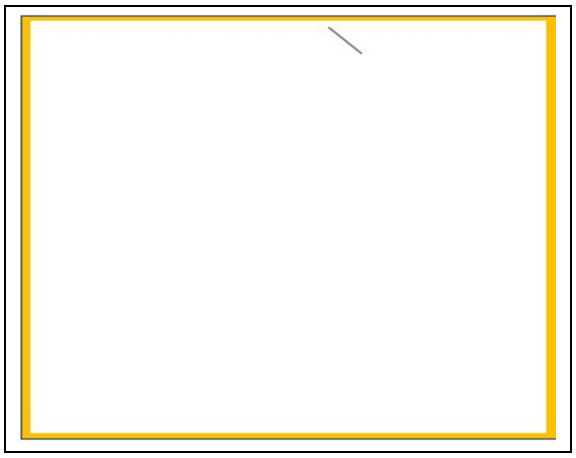
$$\mu_1(t) = \frac{\sum_{i=t}^{L=1} ip(i)}{w_1(t)} \quad (11)$$

Olasılık yoğunluk ile eleme ve otsu yöntemi ile eleme sonrası elde edilen ikili görüntüye ait görsel Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 6. Üst üçgensel matris üzerinden temsili köşegen değerlerinin gösterimi

Figure 6. Representation of the representative diagonal values from the upper triangular matrix.



Şekil 7. Eleme sonrası aday çerçeve doğrusu.

Figure 7. Candidate frame line after qualification.

2.4 Diyagonal elemanların incelenmesi ile bölge seçimi

İkili matris üzerinden üst üçgensel bölgede diyagonal elemanlar incelenir. En çok sayıda 0'a yakın değer içeren; diğer bir ifadeyle en küçük ortalama değere sahip olan diyagonal konumu aday olarak seçilmektedir. Diyagonal elemanlar içerisinde tüm vektörlerin boyu eşit olmayacağı için en büyük boylu vektörün boyuna eşitlemek adına bir ile doldurma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu vektörler içerisinde sıfır değerinin fazla olduğu vektör ortalaması en düşük olan vektör olup, sıfır değerlerinin başlangıç ve bitiş konumlarının doğruluğu sonraki aşamada araştırılmıştır.

Aday vektör elde edildikten sonra tekrarlanan çerçevelerin konumları yaklaşık olarak bulunmuş olur. Bu aşamadan sonra hatalı bulunan çerçevelerin elenebilmesi için ikinci bir bilgi olan çerçeveler arası *SSIM* (yapısal benzerlik ölçütü) bilgisi kullanılmıştır. *SSIM* iki görüntü arasında luminans, kontrast ve yapısal eleman bilgisine göre kalite ölçütü olarak kullanılır [13]. Çerçeveler arası *SSIM* bilgisine göre aday olarak belirlenen çizgimizin başlangıç ve bitiş konumlarındaki çerçevelerin bir sonraki ve bir önceki çerçevelerle olan ilişkisi deneysel olarak belirlenen eşik değeri ile kıyaslanarak tam konum elde edilir. Detaylar 2.2'de anlatılmıştır.

2.5 Yanlış pozitiflerin elenmesi

Elde edilen aday çerçeve konumlarından oluşan doğrunun başlangıç ve bitiş konumları eksik ya da fazla olabilmektedir. Bu nedenle ilgili konumlar için toplam dört arama yapılmıştır. Bu kısımda bulunan aday çizginin başlangıç ve bitiş konumlarını tam olarak tespit edebilmek amacıyla; sahte ve orijinal olarak bulunan çiftler arasındaki benzerlik *SSIM* değerleri ile hesaplanmıştır. Bu değerler deneysel olarak belirlenen kullanılan veri tabanına göre 0.998 eşiğine göre kıyaslanmıştır.

Yukarıda ifade edilen örnekte olduğu gibi 10. ile 20. çerçeveler arası, 30. ile 40. çerçeveler arasında tekrarlanıyor olsun bu durumda 10-30, 11-31, 12-32, …, 19-39, 20-40 elde edilen aday doğrusunun elemanlarını oluşturacaktır. Ancak algoritma sonucu aday olarak bulunan değerlerde 9-29 ve öncesi veya 21-41 ve sonrası var ise bu değerlerin elenmesi gerekmektedir. İkinci durum ise aday doğrusunun asıl olması gereken başlangıç ve bitiş noktalarını kapsamamış olmasıdır. Yani aday doğrusu algoritma sonucu 10-30 çiftinden başlaması gerekirken 11-31 veya sonraki çiftten başlaması veya 20-40 çifti ile sonlanması gerekirken 19-39 çifti veya öncesi ile sonlanması istenmeyen durumlardır. Bu durumda da aday doğrumuza ekleme yapılması gerekmektedir.

Fazla bulunan piksel konumlarının elenmesi için; incelenen konum aday doğrusunun başlangıç konumunda olması durumunda, hedef ve kaynak çerçeve arasındaki *SSIM* değeri eşikten küçükse ilgili başlangıç konumu bir artırılır. Yani baştan sahte olarak bulunan fazla çerçeve atılır. Eğer aday çizginin bitiş konumu ise ve *SSIM* değeri eşikten küçükse bitiş konumu bir azaltılır.

Eksik bulunan piksel konumlarının eklenmesi için; aday çizginin başlangıç çerçevesinden önceki eşleşen çerçeveler arasındaki benzerlik oranı eşiğin üzerindeyse bu çerçeveler sahte çerçeveler grubuna eklenir. Aynı şekilde aday çizginin bitiş konumundan sonraki çerçeveler arasındaki benzerlik değeri eşik değerinden büyükse sahte çerçeveler listenin sonuna eklenir.

Videolarda bir saniyede 25-30 çerçeve geçişi olmaktadır ayrıca hedef çerçevelerin kaynak çerçevelerin üzerine ya da hemen ardına yapıştırılması durumunda çerçeve özellikleri arasında benzerlik çok yüksek olacaktır. Buna dayanarak, önerilen algoritma içerisinde sahte çerçeve oluşturmak için tekrarlanan

çerçevelerin, kaynak çerçevelerin üzerine yapıştırılmadığı ve en az 10 çerçeve aralıkla yapıştırıldığı varsayımı yapılmıştır.

3 Bulgular

Önerilen çalışmanın değerlendirilmesi için, farklı çözünürlüklere sahip üç farklı veri tabanından alınan videolar üzerinde test gerçekleştirilmiştir. Fadl ve diğ. çalışmasıyla önerdikleri veri tabanlarında kullanılan videolar üzerinden Ulutaş ve diğ. çalışması kodlanarak, amaçlanan çalışma ile kıyaslanmıştır. Veri tabanı oluşturulurken Fadl ve diğ. üç farklı veri setinden almış olduğu 320×240 (SULFA), 352×288 (LASIESTA), 704×576 (IVY LAB) videolar üzerinden tekrarlama sahteciliği için 9 video oluşturmuştur ve Tablo 1'deki 12 ile 20 arasındaki gibi isimlendirmiştir. [8]'deki çalışma içerisinde videolarda yapılan sahtecilik konumları "VirtualDub" programı yardımıyla incelendiğinde Tablo 2'deki gibi olduğu görülmüştür. Kıyas ortak olarak kullanılan bu veri tabanı üzerinden yapılmıştır.

Tablo 1. Ulutaş ve diğ. [9] çalışması ile önerilen çalışmanın süre bakımından kıyaslanması.

Table 1 Comparison of the study Ulutas et al. [9] with the proposed study in terms of duration.

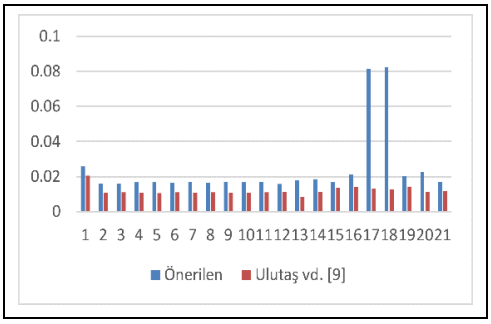
	Ortalama Süre (*çerçeve/sn.*)
Önerilen	0.0241
Ulutaş ve diğ. [9]	0.0119

Tablo 2. Kullanılan videolara ait sahtecilik konumları.

Table 2. Duplicated forgery locations of videos used.

No	Video	Sahtecilik Konumları		
		Kaynak	Hedef	Uzunluk
1	can_220_book	11-61	221-271	407
2	can_220_flap(1)	101-161	316-376	429
3	can_220_flap(2)	61-101	281-321	372
4	can_220_garden(1)	11-61	251-301	403
5	can_220_garden(4)	101-141	181-221	361
6	can_220_man(2)	11-61	161-211	390
7	can_220_road(5)	131-191	221-281	356
8	can_220_room(3)	131-171	261-301	436
9	can_220_street(3)	31-71	211-251	326
10	nik_s3000_bridge(1)	121-171	221-271	394
11	nik_s3000_indoor_stairs	11-51	106-146	228
12	V17	129-210	250-331	381
13	V18	185-225	50-90	452
14	V19	260-451	554-745	745
15	V20	1-86	200-285	446
16	V25	39-213	269-443	623
17	V27	630-775	3-148	807
18	V28	401-505	566-670	812
19	V29	69-129	399-459	460
20	V30	74-124	240-290	300
21	akiyo_qcif	75-150	220-295	375
22	bus_cif	145-214	10-79	220
23	claire_qcif	190-230	460-500	534
24	container_cif	30-69	280-319	340
25	flower_cif	1-60	241-301	310
26	foreman_qcif	20-100	290-370	380
27	hall_qcif	15-250	299-534	535
28	miss-america_qcif	55-74	134-153	170
29	paris_cif	125-189	940-1004	1130
30	suzie_qcif	40-90	110-160	200

Çalışmanın 21 video üzerinden süre kıyaslaması aşağıdaki Tablo 1'deki gibidir. Toplam süre algoritmanın koşulma süresinin, ilgili videonun toplam çerçeve sayısına oranlanması ile bulunur. Ortalama süreler ise toplam sürelerin kullanılan 21 videodaki toplam çerçeve sayısına oranlanması ile bulunmaktadır. Tablo 1'de 21 videonun toplam çerçeve başına geçen süre ortalamaları gösterilmiştir. Her bir video için süre kıyaslamaları Şekil 8'de gösterilmiştir.

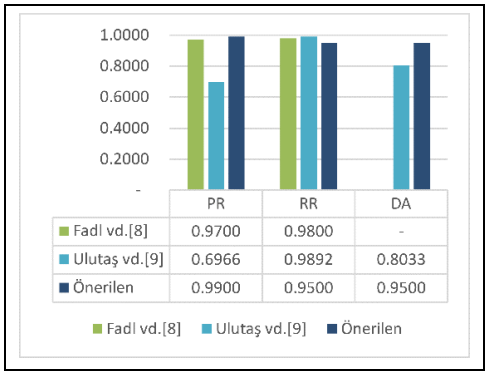


Şekil 8. Videoların çerçeve başına düşen süre miktarı kıyaslaması.

Figure 8. Time-per-frame comparison of videos.

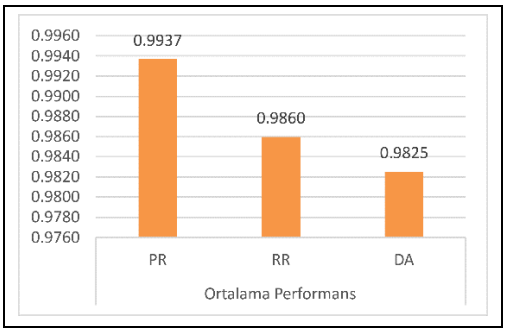
Tablo 1'de görüldüğü gibi, önerilen yöntem referans gösterilen yöntem kadar hızlı çalışmamaktadır. Referans gösterilen çalışma farklı boyutlardaki 9 video için çalışmadığı için 21 video üzerinden kıyaslama yapılmıştır.

Doğruluk bakımından elde edilen sonuçlar Şekil 9'da verilmiştir. Fadl ve diğ. çalışmalarında tanılama doğruluğunu rapor etmemiştir. PR ve RR değerlerini de yaklaşık olarak gösterilmiştir. Yukarıda ifade edilen veritabanı dışında sistemin başarısını değerlendirebilmek için SULFA'dan ve Trace Library (176×144 ve 352×288)'den alınan farklı çözünürlüklere sahip 21 video daha eklenerek toplam 30 video üzerinden testler yapılmıştır. Buna ilişkin performans sonuçları da Şekil 10'da gösterildiği gibidir. Bunun dışında Ulutaş ve diğ. çalışması ile amaçlanan yöntemin kıyaslaması da Şekil 11'de verilmiştir. Burada kalan 9 video için [9]'daki yöntem çalışmamıştır. O yüzden test sonuçları 21 video üzerinden verilmiştir. Kullanılan videolar VirtualDub programı kullanılarak oluşturulmuştur. Gerçekleştirilen sahtecilik konumlarına ait veriler ve sahtecilik yapıldıktan sonraki toplam çerçeve sayısı Tablo 2' de verildiği gibidir. İlk olarak SULFA veri tabanından sonrasında da Fadl ve diğ. kullandığı, sonra da Trace Library'den alınan videolara ait sonuçlar sırasıyla verilmiştir.



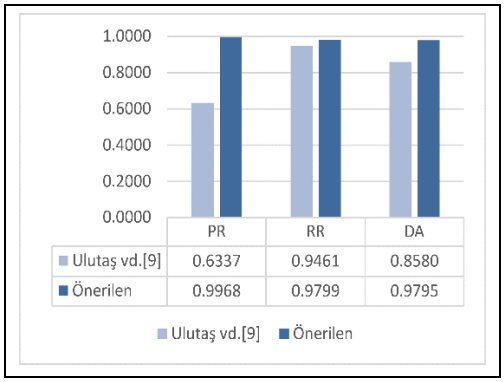
Şekil 9. PR RR DA değerlerinin kıyaslanması.

Figure 9. Comparison of PR RR DA values.



Şekil 10. 30 video için ortalama PR RR DA sonuçları.

Figure 10. Average PR RR DA results for 30 videos.



Şekil 11. 21 video için ortalama PR RR DA sonuçları.

Figure 11. Average PR RR DA results for 21 videos.

Gerçekleştirilen çalışmada doğru bulunan çerçeve sayısının toplam çerçeve sayısına oranı yani tanılama doğruluğu (*DA*), kesinlik (PR) ve seçicilik (RR) bakımından incelemesi yapılmıştır.

$$DA = \frac{DP + DN}{DP + DN + YP + YN} \tag{12}$$

$$PR = \frac{DP}{DP + YP} \tag{13}$$

$$RR = \frac{DP}{DP + YN} \tag{14}$$

Tanımlamalar da orijinal çerçeveler pozitif (*P*), sahte çerçeveler negatif(*N*) olarak belirlenmiştir. Doğru (*D*) bulunan orijinal çerçeveler (*DP*), yanlış (*Y*) bulunan sahte çerçeveler (*YN*) şeklinde isimlendirilmişlerdir. Buna göre incelenen performans sonuçlarına ilişkin tanımlamalar Eşitlik 12-13-14'te verilmiştir.

4 Sonuçlar

Çerçeve tekrarlama sahteciliği videolar üzerinde belirli bir çerçeve grubunun farklı bir çerçeve grubu üzerine eklenerek veya direk yapıştırılması ile oluşturulmaktadır. Bu şekilde sabit sahneler ile mevcut olayların kapatılması ya da tekrarlanması sağlanabilmektedir. Bu durum önemli olayları izleyenleri, yanlış yönlendirme amacıyla kullanılabilir. Önerilen çalışma ile çerçeveler arası tekrarlama sahteciliğinin tespiti için yeni bir yöntem sunulmuştur. Önerilen yöntem tüm çerçevelerin benzerliklerini inceler. Eşleşen bölgeleri hızlı bir şekilde belirlemek için eşleşmeleri bir görüntü olarak ele alıp doğrusal bir bölge arar. Son olarak kısıtlı bölümde detaylı arama yaparak seçilen eşleşme bölgesinde tekrarlama sahteciliği bulunan çerçeveleri tespit eder. Çerçeve tekrarlama sahteciliğinin durağan görüntülü videolarda ya da hareketli sahneler bulunan videolarda yapılmış olması eşleşme değerlerini farklılaştırmaktadır. Ancak önerilen yöntem kullanılan videolarda hem durağan hem de hareketli sahneler olması durumunda sahtecilik tespiti yapabilmektedir. Çerçeve tekrarlama sahteciliği tespit yöntemleri için diğer bir zorluk sahteciliğin videonun başında ya da sonunda olmasıdır. Bu tür durumlarda yöntemler sıklıkla yanlış pozitif ya da yanlış negatif sonuçlar verebilmektedir. Önerilen yöntemin videonun sonunda veya başında sahtecilik yapıldığı durumlarda da tespit yapılabildiği gözlemlenmiştir. Test edilen videolar için elde edilen doğruluk oranı %98'dir. Gelecek çalışmalarda kullanılan yöntemin sıkıştırmaya da dayanıklı olması için yöntemin geliştirilmesi hedeflenmektedir. Tekrarlama sahteciliği yapıldığı veya videonun orijinal olduğu bilgisi kullanılan eşik değerine göre otomatik olarak bulunmaktadır. Çalışmanın başarısının değerlendirilebilmesi için çeşitli veri tabanları kullanılarak oluşturulan videolar üzerinden testler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ilgili yöntemin sıkıştırılmamış videolarda çerçeve sahteciliği tespitinde kullanılabileceğini göstermektedir. Kullanılan veri tabanındaki videolar incelendiğinde geliştirilen yöntemin günlük hayatta karşılaşılacak gerçek problemlere de uygunluk gösterdiği görülmektedir.

5 Conclusions

Frame duplication forgery is created by adding a specific frame group on a different frame group or directly pasting it on videos. In this way, it is possible to close or repeat existing events with fixed scenes. This can be used to mislead the viewer of important events. With the proposed study, a new method for the detection of duplication forgery between frames is presented. for the detection of duplication forgery between frames is presented. The proposed method examines the similarities of all frames. It treats the match matrix as an image and looks for a linear region to quickly identify the matching regions. Finally, it detects duplicated frames in the selected matching region by performing a detailed search in the restricted section. The fact that frame duplication forgery is made in still videos or videos with moving scenes differentiates the match values. However, the proposed method can detect forgery in the case of both stationary and moving scenes in the videos used. Another challenge for frame-duplication forgery detection methods is placing the forgery is at the beginning or end of the video. In such cases, methods can often give false positive or false negative results. It has been observed that the proposed method can also be detect the cases where forgery is made at the end or beginning of the video. The accuracy rate obtained for the tested videos is 98%. It is aimed to develop the method so that the method used in future studies is robust to compression. The information whether the video is original or forged is automatically found using a threshold value used. When the videos in the database used are examined, it is seen that the developed method is suitable for real problems encountered in daily life. When the videos in the database used are examined, it is seen that the developed method is also suitable for real problems to be encountered in daily life.

6 Yazar katkı beyanı

Gerçekleştirilen çalışmada Işılay BOZKURT fikrin oluşması, tasarımın yapılması, literatür taraması ve elde edilen sonuçların değerlendirilmesi başlıklarında; Güzin ULUTAŞ

sonuçların incelenmesi, yazım denetimi ve içerik açısından makalenin kontrol edilmesi başlıklarında katkı sunmuşlardır.

7 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur.

Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

8 Kaynaklar

[1] Sitara K, Mehtre BM. "Digital video tampering detection: an overview of passive techniques". *Digital Investigation*, 18, 8-22, 2016.

[2] Kingra S, Aggarwal N, Singh RD. "Video inter-frame forgery detection: a survey". *Indian Journal of Science and Technology*, 9(44), 1-9, 2016.

[3] Qadir G, Yahaya S, Ho AT. "Surrey university library for forensic analysis (SULFA) of video content". *IPR 2012 IET Conference on Image Processing*, London, UK, 3-4 July 2012.

[4] Wang W, Jiang X, Wang S, Wan M, Sun T. "Identifying video forgery process using optical flow". *In International Workshop on Digital Watermarking,* Springer, Berlin, Heidelberg, 1-4 October 2013.

[5] Zhang Z, Hou J, Ma Q, Li Z. "Efficient video frame insertion and deletion detection based on inconsistency of correlations between local binary pattern coded frames". *Security and Communication networks*, 8(2), 311-320, 2015.

[6] Liu Y, Huang T. "Exposing video inter-frame forgery by Zernike opponent chromaticity moments and coarseness analysis". Multimedia Systems, 23(2), 223-238, 2017.

[7] Bakas J, Naskar R, Dixit R. "Detection and localization of inter-frame video forgeries based on inconsistency in correlation distribution between Haralick coded frames". *Multimedia Tools and Applications*, 78(4), 4905-4935, 2019.

[8] Fadl S, Han Q, Qiong L. "Exposing video inter-frame forgery via histogram of oriented gradients and motion energy image". *Multidimensional Systems and Signal Processing,* 31(4), 1365-1384, 2020.

[9] Ulutaş G, Ustubioğlu B, Ulutaş M, Nabiyev V. "Video forgery detection method based on local difference binary". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26 (5), 983-992, 2020.

[10] Gonzales RC, Woods RE. *Digital Image Processing*. 2nd ed. New Jersey, USA, 2002.

[11] Büyüköztürk Ş, Çokluk Ö, Köklü N. *Sosyal Bilimler için İstatistik*. 24. Baskı, Ankara, Türkiye, PEGEM Akademi Yayıncılık, 2018.

[12] Prof. Dr. Ezen Tavşancıl, "Ders Notları. Temel İstatistik Korelasyon II". https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/169658/mod_resource/content/0/8_KORELASYON%20II.pdf (14.08.2021).

[13] Wang Z, Bovik AC, Sheikh HR, Simoncelli EP. "Image quality assessment: from error visibility to structural similarity". *IEEE transactions on image processing*, 13(4), 600-612, 2004.