

## A Blind and Robust Video Watermarking Method based on Hybrid 3-D Transform

Shahrokh Fallah Tarbebar<sup>1</sup>, Farzad Zargari Asl<sup>2\*</sup>

1. MSc, Faculty of Mechanic, Electrical and Computer Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2. Assistant Professor Islamic Azad University, Science and Research Branch, Faculty of Mechanic, Electrical and Computer Engineering, Tehran, Iran. (*Corresponding Author*)

### Abstract

**Introduction:** Digital images and videos can be copied, reproduced, and distributed with the same quality as the original ones, and this violates the copyright of original producers and the distributors. As a result, embedding information about the original producer and distributor in digital images and video attracted great attention for digital right management. Watermarking provides the facility to embed the required information in images and videos. Robust watermarking is used for embedding authentication information and hence should be robust against various attacks. On the other hand, in fragile watermarking the embedded data should be destroyed by any alteration in the watermarked image or video. Reversible digital watermarking techniques are proposed for lossless restoration of the original image from the watermarked image. Watermarking is non-blind when a copy of the signature or other related information is required for extracting the signature from the watermarked image or video and is blind when the signature can be extracted from watermarked data without any other subsidiary information. Watermarking the signature in a group of successive frames of a video file by the use of 3-D transforms attracted attention because it makes the watermarked video more robust against attacks such as frame averaging and alteration, and watermarking by 3-D transform is employed as a solution to the problems caused by independent watermarking of signature in one or several frames.

**Methods:** Contourlet transform offers a high degree of directionality and anisotropy besides the multi-scale and time-frequency localization properties in wavelet transform. As a result, Contourlet transforms the representation of curved edges in the images with smoother contour and fewer coefficients compared to the wavelet transform. In this paper, a blind robust watermarking method based on a hybrid 3-D transform is proposed. The hybrid 3-D transform is derived by employing the 2-D Contourlet transform along with the 1-D wavelet transform. The signature will be watermarked in the low-frequency sub-band derived from the third level transform. To watermark the signature, we save a modified copy of the high energy coefficients of the even part in the odd part. For signature extraction, the watermarked region is partitioned into odd and even columns. The 3-level 3-D is applied to odd and even parts to transform coefficients. The high-energy sub-bands in odd and even parts are separated to extract the signature.

**Results:** Experimental results indicate low degradation of the quality of the watermarked video, along with high robustness of the watermarked video against common attacks in comparison with other tested blind video watermarking methods.

**Discussion:** A comparison of the proposed method with other methods indicates the superior performance of the proposed method in most of the attacks.

**Keywords:** Blind video watermarking; 3-D transform; Contourlet transform; wavelet transform.

## ارائه روش جدید نهان‌نگاری ویدئوی کور و مقاوم با استفاده از تبدیلات سه‌بعدی

سال دوم، زمستان ۱۴۰۰  
شماره چهارم، صص: ۲۱ - ۳۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۱۲  
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۲۷

شاهرخ فلاح تربه‌بر، فرزاد زرگری اصل<sup>\*۲</sup>

۱. کارشناسی ارشد، دانشکده مکانیک، برق و کامپیوتر، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. fallahsh@ripi.ir

۲. استادیار، دانشکده مکانیک، برق و کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران. (نویسنده مسئول)

[zargari@itrc.ac.ir](mailto:zargari@itrc.ac.ir)

**چکیده:** نهان‌نگاری ویدئو با استفاده از تبدیلات سه‌بعدی، ویدئوی نهان‌نگاری شده را در برابر حملاتی مانند میانگین‌گیری فریم، تبانی و... مقاوم‌تر می‌کند. نهان‌نگاری با استفاده از تبدیلات سه‌بعدی به‌عنوان راهکاری در مقابله با مشکلات ناشی از نهان‌نگاری مستقل امضا در یک یا چند فریم استفاده می‌شود. در این مقاله یک الگوریتم نهان‌نگاری ویدئو کور مقاوم جدید بر پایه تبدیل سه‌بعدی پیشنهاد شده است. تبدیل به‌کارگرفته ترکیبی از تبدیل کانتورلت دو بعدی و تبدیل موجک گسسته یک بعدی است. در روش پیشنهادی، هر فریم از ویدئو به ستون‌های فرد و زوج سه‌بعدی تقسیم می‌شود. تبدیل بر روی هر دوی آن‌ها اعمال می‌شود و امضا در قسمت زوج ویدئو با استفاده از ضریب انرژی بالای قسمت فرد گنجانده می‌شود. نتایج آزمایش‌ها حاکی از افت ناچیز کیفیت ویدئو نهان‌نگاری شده و کیفیت مناسب امضا استخراجی می‌باشد همچنین روش پیشنهادی در برابر حملات رایج ویدئوهای نهان‌نگاری شده نسبت به راهکارهای مشابه، مقاومت مناسب‌تری ارائه می‌کند.

**واژه‌های کلیدی:** نهان‌نگاری کور ویدئو، تبدیلات سه‌بعدی، تبدیل کانتورلت، تبدیل موجک .

## ۱. مقدمه

در سال‌های گذشته، با توسعه اطلاعات دیجیتال و اینترنت، رسانه‌های دیجیتال به‌طور گسترده‌ای بر رسانه‌های آنالوگ سنتی غلبه‌یافتند. یکی از اثرات جانبی این توسعه، سهولت کپی و انتقال محصولات دیجیتال بدون نیاز به مجوز صاحبان آثار بوده‌است. امروزه با توجه به توزیع و تکثیر رسانه‌های دیجیتال این امکان همیشه وجود دارد که حقوق خالقین و توزیع‌کنندگان اثر نادیده‌گرفته‌شود، در نتیجه مزایای توزیع و تکثیر اثر به صاحبان واقعی رسانه دیجیتال نرسد [1]. به منظور پیاده‌سازی قانون کپی‌برداری<sup>۱</sup> نیازمند قابلیت‌های رسانه‌های دیجیتال می‌باشیم تا بتوانیم با در دسترس داشتن رسانه دیجیتال منتشر شده اطلاعات مالک رسانه را به دست آوریم سپس با استفاده از اطلاعات استخراج‌شده، در خصوص درستی انتشار، مالک و کلیه اطلاعاتی که صحت مالکیت رسانه را مشخص می‌سازد، تصمیم‌گیری کنیم. برای حل این مشکل راهکار نهان‌نگاری دیجیتال با استفاده از مفاهیم پردازش سیگنال<sup>۲</sup>، تئوری ارتباطات<sup>۳</sup> و پنهان‌سازی<sup>۴</sup> ارائه‌شد [2]. گستره کاربرد نهان‌نگاری فراتر از حفظ حقوق مالکین اثر می‌باشد. از نهان‌نگاری می‌توان برای رد یابی<sup>۵</sup>، اعتبارسنجی<sup>۶</sup> و مخفی‌سازی ارتباطات<sup>۷</sup> نیز استفاده کرد [3] [4].

از انواع نهان‌نگاری دیجیتال می‌توان به نهان‌نگاری مقاوم<sup>۸</sup>، شکننده<sup>۹</sup>، برگشت‌پذیر<sup>۱۰</sup> و کور اشاره کرد. از نهان‌نگاری مقاوم برای جاسازی اطلاعات در سیستم‌های احراز هویت استفاده می‌شود و از این رو الگوریتم به‌کاررفته باید در برابر حملات مختلف مقاوم باشد. از سوی دیگر، در نهان‌نگاری شکننده، داده‌های تعبیه‌شده باید با هر تغییر در تصویر یا ویدئوی نهان‌نگاری‌شده از بین بروند. تکنیک‌های نهان‌نگاری دیجیتال برگشت‌پذیر برای بازیابی بدون تلفات رسانه اصلی از رسانه نهان‌نگاری‌شده پیشنهاد شده‌اند [5] [6]. هنگامی که یک کپی از امضا یا سایر اطلاعات مرتبط برای استخراج امضا از تصویر یا ویدئوی نهان‌نگاری‌شده مورد نیاز است، نهان‌نگاری غیر کور است و زمانی که بتوان امضا را از داده‌های نهان‌نگاری‌شده بدون هیچ‌گونه اطلاعات فرعی دیگری استخراج کرد، نهان‌نگاری کور است.

اطلاعات ویدئویی نسبت به تصاویر دیجیتال دارای ویژگی‌هایی هستند که منجر به چالش‌های بزرگتری در نهان‌نگاری ویدئو به نسبت نهان‌نگاری تصویر می‌شوند. حجم زیاد داده و وجود افزونگی بین فریم‌ها، سیگنال‌های ویدئویی را در برابر حملات حق کپی‌برداری مستعد می‌کند. از جمله این حملات می‌توان به حذف فریم‌ها<sup>۱۱</sup>، میانگین‌گیری از فریم‌ها<sup>۱۲</sup>، معاوضه فریم‌ها<sup>۱۳</sup>، تبانی، آنالیز آماری اشاره کرد [7].

همه این حملات خواسته و ناخواسته ممکن است با اندکی تغییر بر روی سیگنال‌های ویدئویی اعمال شوند که این خود می‌تواند ویدئو نهان‌نگاری شده را آسیب‌پذیر کند. در نهان‌نگاری ویدئو اینکه هر فریم به‌صورت یک تصویر مجزا در نظر گرفته‌شود، الگوریتم معقولی برای نهان‌نگاری ویدئو نیست، این کار پیچیدگی محاسباتی بالایی دارد. از طرف دیگر اگر امضاها را مختلف در هر فریم گنجانده‌شوند، سارقان

می‌توانند این امضاها را با مقایسه آماری یا میانگین‌گیری نواحی بدون حرکت (فریم‌های متوالی بدون تغییر) از فریم‌های ویدئویی حذف‌کنند. در مقابل گنجاندن امضا یکسان در هر فریم نیز این امکان را فراهم می‌کند که با استفاده از آنالیزهای آماری نواحی از ویدئو که شامل داده نهان‌نگاری شده می‌باشند به راحتی حذف شوند. بدین ترتیب، امضا گنجانده شده مورد حمله قرار می‌گیرد. نهان‌نگاری ویدئو ممکن است با استفاده از انباشتن فریم‌های مختلف کشف و تخریب شود. راهکار نهان‌نگاری باید با توازن بر پایه موارد اشاره‌شده در بالا به‌کار گرفته‌شود. نهان‌نگاری امضا در گروهی از فریم‌های متوالی با استفاده از تبدیلات سه‌بعدی، و ویدئوی نهان‌نگاری‌شده را در برابر حملاتی مانند میانگین‌گیری فریم، تبانی و... مقاوم‌تر می‌کند. نهان‌نگاری با استفاده از تبدیلات سه‌بعدی به‌عنوان راهکاری در مقابله با مشکلات ناشی از نهان‌نگاری مستقل امضا در یک یا چند فریم استفاده می‌شود.

در [8] یک روش نهان‌نگاری ویدئو دامنه فشرده بر اساس تبدیل موجک سه‌بعدی پیشنهاد شده‌است. در این مقاله از یک کلید به‌عنوان رمز عبور برای درج و استخراج امضا استفاده شده‌است. ویدئوهای نهان‌نگاری تولیدشده با این روش دارای PSNR بالایی هستند اما ویدئوهای نهان‌نگاری‌شده دارای استحکام کمی در برابر حملات گوسی<sup>۱۴</sup>، برش<sup>۱۵</sup> و تغییر اندازه هستند.

در [9] یک روش نهان‌نگاری ویدئو کور بر اساس تبدیل موجک سه‌بعدی و تقسیم‌بندی صحنه ویدئو پیشنهاد شده‌است. برای جاسازی امضا در این روش ابتدا تبدیل سه‌بعدی بر روی ویدئو اعمال می‌شود، سپس امضا بر اساس بزرگی ضرایب WT سه‌بعدی تعبیه می‌شود. روش ارائه‌شده استحکام کمی در برابر حذف فریم، تعویض فریم و میانگین‌گیری فریم دارد.

در [10] یک روش نهان‌نگاری ویدئو کور بر اساس تقسیم‌بندی ویدئو با استفاده از تبدیلات سه‌بعدی پیشنهاد شده که در آن یک تصویر امضای سیاه و سفید به رزولوشن‌های مختلف تبدیل می‌شود و سپس امضا با وضوح مناسب در ویدئو تبدیل‌شده سه‌بعدی جاسازی می‌شود. این الگوریتم دارای استحکام مناسبی در برابر حملات میانگین‌گیری و استحکام کمی در برابر حملات حذف فریم و تعویض فریم است.

در [11] از تبدیل ترکیبی سه‌بعدی استفاده شده که از تبدیل کانتورلت برای اطلاعات مکانی و موجک یک‌بعدی برای اطلاعات زمانی استفاده می‌کند. امضا در ضرایب زیرباند فرکانس پایین تعبیه شده‌است. روش پیشنهادی در برابر میانگین‌گیری فریم و فشرده‌سازی MPEG مقاوم است و در برابر حملات نویز، برش و حذف فریم استحکام اندکی دارد.

در روش پیشنهادی [12] هر بیت امضا در یک بسته چهار بیتی از ضرایب تبدیل تعبیه شده‌است. برای جاسازی امضا، ابتدا ضرایب حداکثر و حداقل از بین چهار ضریب پیدامی‌شود و سپس به‌گونه‌ای مرتب می‌شوند که برای جاسازی «یک» ابتدا حداکثر ضرایب و برای جاسازی «صفر» حداقل ضریب در جایگاه اول قرار می‌گیرد. این روش استحکام

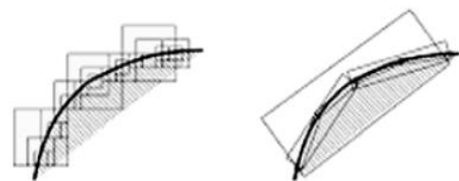
کمی در برابر حملات نویز، حذف فریم و تعویض فریم دارد، علاوه بر این، ویدئوهای نهان‌نگاری شده PSNR کمی دارند. در [13] نویسندگان مقاله، روش نهان‌نگاری ویدئویی را پیشنهاد کردند که در برابر نویزهای گوسی، لفل-نمکی<sup>۱۶</sup>، حذف فریم و تعویض فریم مقاوم است اما کور نیست. نویسندگان این مقاله امضا را با استفاده از تبدیل سه‌بعدی در مناطق با حرکت بالا می‌گنجانند.

در [14] [15] [16] به روش‌های نهان‌نگاری ویدئویی که از تبدیلات سه‌بعدی و روش‌های جاسازی دیگر استفاده کرده‌اند، پرداخته شده است.

در این مقاله ما یک روش نهان‌نگاری ویدئو کور بر اساس تبدیل سه‌بعدی ترکیبی پیشنهاد می‌کنیم. و در آن از تبدیل کانتورلت دو بعدی برای هر فریم و موجک یک بعدی برای تبدیل بین فریم‌ها استفاده می‌کنیم. از تبدیل کانتورلت برای نهان‌نگاری تصویر در [17] و ویدئو در [11] استفاده شده است. روش پیشنهادی یک روش نهان‌نگاری ویدئو است که در نحوه گنجاندن امضا با [11] متفاوت است. روش پیشنهادی در مقایسه با روش ارائه شده در [11] استحکام بهتری در محدوده وسیع‌تری از حملات ویدئویی از خود نشان می‌دهد. علاوه بر این، در روش پیشنهادی شاهد افت اندکی در کیفیت ویدئوی نهان‌نگاری شده به نسبت ویدئوی اصلی خواهیم بود. نتایج تجربی نشان می‌دهد که روش پیشنهادی در برابر طیف وسیعی از حملات نهان‌نگاری ویدئو مقاوم است. ترتیب ارائه مطالب به شرح زیر است: در بخش ۲ در خصوص تبدیل‌های به‌کاررفته توضیحاتی ارائه می‌شود. در بخش ۳ روش پیشنهادی، در بخش ۴ نتایج آزمایش‌ها و مقایسه آن با راهکارهای موجود آورده شده است و در بخش ۵ نتیجه‌گیری و نکات پایانی ذکر خواهد شد.

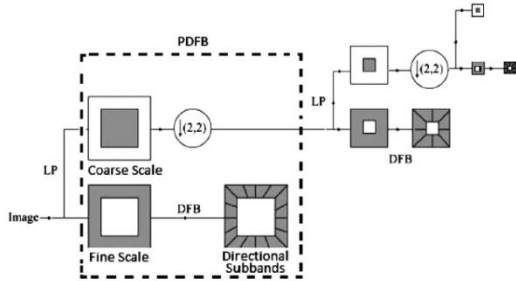
## ۲. تبدیلات

تبدیل موجک یکی از پرکاربردترین تبدیل‌ها در کدگذاری تصویر و ویدئو است، اما از آنجاکه تبدیل موجک اساساً تبدیلی یک بعدی است، در مدل‌سازی لبه‌های منحنی در تصاویر دارای اشکالاتی است. از سوی دیگر، تبدیل کانتورلت تبدیلی دو بعدی است که می‌تواند بر ناکارآمدی تبدیل موجک در گرفتن ساختار هندسی اطلاعات بصری غلبه کند. تبدیل کانتورلت درجه بالایی از جهت‌گیری و ناهمسانگردی<sup>۱۷</sup> را علاوه بر خواص محلی‌سازی چند مقیاسی<sup>۱۸</sup> و فرکانس زمانی در تبدیل موجک ارائه می‌دهد. در نتیجه تبدیل کانتورلت لبه‌های منحنی در تصاویر را با کانتور صاف‌تر و ضرایب کمتر در مقایسه با تبدیل موجک ارائه می‌کند (شکل ۱).



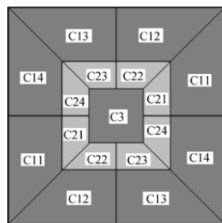
شکل ۱: تبدیل کانتورلت در مقابل تبدیل موجک [12]

تبدیل کانتورلت با استفاده از بانک فیلتر در دو مرحله ساخته می‌شود. در مرحله اول، از فیلتر هرم لاپلاسین (LP) برای ثبت ناپیوستگی‌ها در تصویر استفاده می‌شود و در مرحله دوم از یک بانک فیلتر جهت‌دار (DFB) برای پیوند ناپیوستگی‌ها به صورت ساختار خطی استفاده می‌شود (شکل ۲).



شکل ۲: بانک فیلتر تبدیل کانتورلت

با توجه به ساختار آبخاری چند مقیاسی فیلتر LP و تجزیه جهت‌دار فیلتر DFB، می‌توان هر مقیاس را به هر توان دلخواه از دو تعداد مقیاس یا جهت تجزیه کرد (شکل ۳).



شکل ۳: تجزیه تکرار شونده به‌کار گرفته شده در تبدیل کانتورلت [12]

در این مقاله برای دستیابی به تبدیل سه بعدی مطلوب جهت نهان‌نگاری، از ترکیب تبدیل کانتورلت به عنوان تبدیل دو بعدی درون فریم و از تبدیل موجک یک بعدی به عنوان تبدیل بین فریم‌ها در ویدئو استفاده شده است.

## ۳. روش پیشنهادی

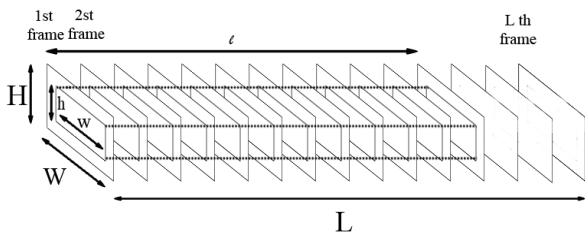
### گنجاندن امضا

فرآیندهای گنجاندن و استخراج امضا با جزئیات بیشتر در بخش‌های زیر توضیح داده خواهد شد.

تبدیل کانتورلت دو بعدی بر روی فریم‌های متوالی اعمال می‌شود، که منجر به چهار باند برای هر فریم می‌شود:

$$T_c(F_i) \rightarrow (ca_i, cb_i, cc_i, cd_i), \quad i \in \{1, 2, \dots, L\} \quad (1)$$

$L$  تعداد فریم‌هایی است که باید نهان‌نگاری شود،  $T_c$  تبدیل کانتورلت است،  $F_i$  نشان‌دهنده  $i$  امین فریم است که نهان‌نگاری می‌شود،  $ca_i, cb_i, cc_i, cd_i$  ضرایب چهار زیرباند هستند که با اعمال تبدیل کانتورلت بر روی فریم  $i$ ام به دست می‌آید که اندازه هر یک از آن‌ها یک چهارم فریم اصلی است. تبدیل موجک یک بعدی به ضرایب کانتورلت حاصل از فریم‌های متوالی اعمال می‌شود. تبدیل موجک یک آرایه را به زیر باندهای



$$d_e(i, j, k) = v(i, 2j, k) \quad (7)$$

$$i \in \{1, 2, \dots, w\}, \quad j \in \left\{1, 2, \dots, \frac{h}{2}\right\},$$

$$k \in \{1, 2, \dots, l\}$$

$$d_o(i, j, k) = v(i, 2j - 1, k) \quad (8)$$

$$i \in \{1, 2, \dots, w\}, \quad j \in \left\{1, 2, \dots, \frac{h}{2}\right\},$$

$$k \in \{1, 2, \dots, l\}$$

سپس تبدیل سه سطحی بر روی  $d_e$  و  $d_o$  به طور مستقل اعمال می شود:

$$T_{D_3 L_3}(d_e) \rightarrow \begin{pmatrix} ca_{L_3 d_e}, ca_{H_3 d_e}, cb_{L_3 d_e}, cb_{H_3 d_e} \\ cc_{L_3 d_e}, cc_{H_3 d_e}, cd_{L_3 d_e}, cd_{H_3 d_e} \end{pmatrix} \quad (9)$$

$$T_{D_3 L_3}(d_o) \rightarrow \begin{pmatrix} ca_{L_3 d_o}, ca_{H_3 d_o}, cb_{L_3 d_o}, cb_{H_3 d_o} \\ cc_{L_3 d_o}, cc_{H_3 d_o}, cd_{L_3 d_o}, cd_{H_3 d_o} \end{pmatrix} \quad (10)$$

امضا یک تصویر دو بعدی  $n \times s \times t$  است. از آنجا که تنها بالاترین باندا انرژی از ضرایب سه بعدی به دست آمده برای جاسازی امضا استفاده می شود، اگر تعداد ضرایب در  $ca_{L_3 d_e}$  و  $ca_{L_3 d_o}$  باشد. لازم است که:

$$n \leq N \quad (11)$$

به منظور نهان نگاری امضا، یک کپی اصلاح شده از ضرایب انرژی بالا قسمت زوج را در قسمت فرد ذخیره می کنیم:

$$ca_{L_3 d_o'}(i, j, k) = \gamma \times ca_{L_3 d_e}(i, j, k) \quad (12)$$

جایی که  $ca_{L_3 d_o'}(i, j, k)$  و  $ca_{L_3 d_e}(i, j, k)$  نشان دهنده ضریب در موقعیت  $(i, j, k)$  در زیر باندا  $ca_{L_3}$  به ترتیب قسمت زوج و فرد است، از  $\gamma$  برای گنجاندن بیت امضا  $wa$  استفاده می شود:

$$if \ wa = 1 \rightarrow \gamma = 1 + \varepsilon, \quad 0 < \varepsilon < 1 \quad (13)$$

$$if \ wa = 0 \rightarrow \gamma = 1 - \varepsilon, \quad 0 < \varepsilon < 1 \quad (14)$$

فرکانس پایین و بالا تجزیه می کند. اعمال تبدیل موجک یک بعدی به تبدیل های متوالی کانتورلت به شرح زیر است:

$$T_w(ca_i(g, f)) \rightarrow (ca_{L_j}(g, f), ca_{H_j}(g, f)), \quad (2)$$

$$g \in \left\{1, 2, \dots, \frac{W}{2}\right\},$$

$$f \in \left\{1, 2, \dots, \frac{H}{2}\right\},$$

$$i \in \{1, 2, \dots, L\}, j \in \left\{1, 2, \dots, \frac{L}{2}\right\}$$

جایی که  $ca_i(g, f)$  نشان دهنده آرایه یک بعدی در مکان  $(g, f)$  زیر باندا  $ca$  در فریم های متوالی است،  $T_w$  تبدیل موجک یک بعدی است،  $ca_{L_j}(g, f)$  و  $ca_{H_j}(g, f)$  نشان دهنده زیر باندهای فرکانس پایین و بالا حاصل از ضرایب تبدیل کانتورلت در مکان  $(g, f)$  فریم های متوالی است. اعمال تبدیل موجک یک بعدی به چهار باندا فرعی در (1) منجر به ضرایب فرکانس پایین و بالا برای هر زیر باندا می شود:

$$T_{D_3}(V_b) \rightarrow (ca_L, ca_H, cb_L, cb_H, cc_L, cc_H, cd_L, cd_H) \quad (3)$$

که در آن  $T_{D_3}$  تبدیل سه بعدی است که از تبدیل کانتورلت دوبعدی و تبدیل موجک یک بعدی تشکیل شده است و  $V_b$  ویدئوی اصلی است. ما از تبدیل سه سطحی در آزمایش ها استفاده کردیم. تبدیل سه بعدی در هر سطح به زیر باندا فرکانس پایین سطح قبلی اعمال می شود:

$$T_{D_3 L_2}(V_b) = T_{D_3}(ca_{L_1 j}(g, f)), \quad (4)$$

$$g \in \left\{1, 2, \dots, \frac{W}{4}\right\}, \quad f \in \left\{1, 2, \dots, \frac{H}{4}\right\},$$

$$j \in \left\{1, 2, \dots, \frac{L}{4}\right\}$$

$$T_{D_3 L_3}(V_b) = T_{D_3}(ca_{L_2 j}(g, f)), \quad (5)$$

$$g \in \left\{1, 2, \dots, \frac{W}{8}\right\}, \quad f \in \left\{1, 2, \dots, \frac{H}{8}\right\},$$

$$j \in \left\{1, 2, \dots, \frac{L}{8}\right\}$$

امضا در زیر باندا فرکانس پایین  $ca_{L_3}$  حاصل از تبدیل سطح سوم گنجانده می شود. ما امضا را در پیکسل های  $w \times h \times l$  از یک ویدئوی  $W \times H \times L$  جاسازی می کنیم به طوری که:

$$1 \leq w \leq W, 1 \leq h \leq H, 1 \leq l \leq L \quad (6)$$

شکل 4 قسمت جاسازی امضا را در یک ویدئو نشان می دهد.

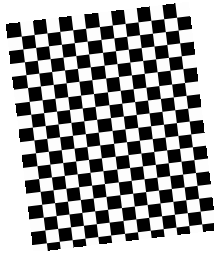
شکل 4: ناحیه انتخابی در ویدئو برای گنجاندن ویدئو

به منظور نهان نگاری ویدئو، یک بخش سه بعدی  $(w \times h \times l)$  از ویدئوی اصلی را به قسمت های زوج و فرد تقسیم می کنیم که قسمت فرد ( $d_o$ ) شامل ستون های فرد و قسمت زوج ( $d_e$ ) شامل ستون های زوج است و هر یک از آن ها دارای ابعاد  $w \times (h/2) \times l$  هستند به صورت:

$$if\ ca_{L_3d_0}(i,j,k) < ca_{L_3d_e}(i,j,k) \rightarrow wa = 0 \quad (19)$$

#### ۴. نتایج تجربی

روش نهان نگاری ویدئو پیشنهادی توسط متلب<sup>۱۹</sup> پیاده سازی شده است. از تصویر شطرنجی با ابعاد ۲۸×۳۵ پیکسل ارائه شده در شکل ۵ به عنوان امضا استفاده شده است.



شکل ۵: تصویر امضا به کار گرفته شده

دلیل استفاده از امضای شطرنجی این است که تعداد پیکسل‌های سیاه و سفید در این امضا برابر است و می‌تواند نکات منفی را در روش نهان نگاری (با فرض یک مقدار از پیش تعریف شده برای پیکسل‌هایی که بر اثر حملات تغییر می‌کنند) در مقایسه با امضاهای با بیت‌های غالب، بهتر آشکار کند.

روش پیشنهادی برای درج نهان نگاری بر روی سکانس‌های ویدئویی tempete، coastguard و mobile با ابعاد ۱۹۲ در ۱۹۲ فریم و ویدئو Foreman با ابعاد ۳۵۲ در ۲۸۸ با ۳۰۰ فریم اجرا شده است. شایان ذکر است که سکانس‌های ویدئویی mobile و tempete دارای جزئیات بافت بالاتر و بردارهای حرکتی غنی‌تری هستند و با استفاده از این مقایسه با سایر ویدئوهای تست شده وضوح بالاتری دارد. با استفاده از این مجموعه ویدئوهای آزمایشی می‌توان تأثیر بافت، حرکت و وضوح بالاتر بر عملکرد روش پیشنهادی را ارزیابی کرد. آزمایش‌ها بر روی یک سیستم پردازنده دو هسته‌ای ۲،۲۶ گیگاهرتزی با ۳ گیگابایت رم انجام شده است. زمان گنجاندن امضا و استخراج برای چهار ویدئوی آزمایش شده نسبتاً برابر بود و به ترتیب ۳۶ ثانیه و ۱۰ ثانیه اندازه‌گیری شده است.

کیفیت امضای استخراج شده توسط معیار همبستگی نرمال شده<sup>۲۰</sup> (NC) به صورت زیر اندازه‌گیری می‌شود:

$$NC = \frac{\sum_i \sum_j W(i,j) \cdot W'(i,j)}{\sqrt{\sum_i \sum_j W(i,j)} \sqrt{\sum_i \sum_j W'(i,j)}} \quad (20)$$

که در آن W و W' به ترتیب امضای اصلی و امضای استخراج شده هستند. به منظور ارزیابی کیفیت ویدئوی نهان نگاری شده، از معیار PSNR استفاده کردیم. PSNR ویدئوهای نهان نگاری شده مختلف در جدول ۱

که در آن ε عددی بین ۰ تا ۱ است که نشان دهنده قدرت نهان نگاری است، مقدار ε بالاتر کیفیت امضای استخراج شده را بهبود می‌بخشد و در نتیجه استحکام در برابر حملات را افزایش می‌دهد اما از طرف دیگر کیفیت ویدئوی نهان نگاری شده را نسبت به ویدئوی اصلی کاهش می‌دهد. بنابراین مقدار ε باید به صورت تجربی انتخاب شود تا بین کیفیت رسانه نهان نگاری شده و قدرت مورد نظر برای استحکام در برابر حملات احتمالی توازن ایجاد شود. ما در آزمایش‌های خود ε=0.05 انتخاب کردیم تا کیفیت مناسبی برای ویدئوی نهان نگاری شده و استحکام در برابر حملات ارائه کنیم.

پس از جاگذاری بیت‌های امضا در ضرایب قسمت فرد، از تبدیل سه بعدی معکوس بر روی  $ca_{L_3d_0'}(i,j,k)$  اصلاح شده به همراه سایر ضرایب در قسمت فرد استفاده می‌شود تا ستون‌های نهان نگاری شده ایجاد شود:

$$IT_{D_3L_3} \left( \begin{matrix} ca_{L_3d_0'}, ca_{H_3d_0'}, cb_{L_3d_0'}, cb_{H_3d_0'} \\ cc_{L_3d_0'}, cc_{H_3d_0'}, dd_{L_3d_0'}, dd_{H_3d_0'} \end{matrix} \right) \rightarrow d_3' \quad (15)$$

که در آن  $IT_{D_3L_3}$  تبدیل سه بعدی معکوس سه سطحی است و  $d_3'$  کپی ستون‌های فرد حاصل شده است. ویدئوی نهان نگاری شده با ادغام ستون‌های فرد اصلاح شده با ستون‌های زوج اصلی به صورت زیر ایجاد می‌شود:

$$v_a(i, 2j, k) = d_e(i, j, k) \quad (16)$$

$$i \in \{1, 2, \dots, w\}, \quad j \in \left\{1, 2, \dots, \frac{h}{2}\right\},$$

$$k \in \{1, 2, \dots, l\}$$

$$(17)$$

$$v_a(i, 2j - 1, k) = d'_o(i, j, k)$$

$$i \in \{1, 2, \dots, w\}, \quad j \in \left\{1, 2, \dots, \frac{h}{2}\right\},$$

$$k \in \{1, 2, \dots, l\}$$

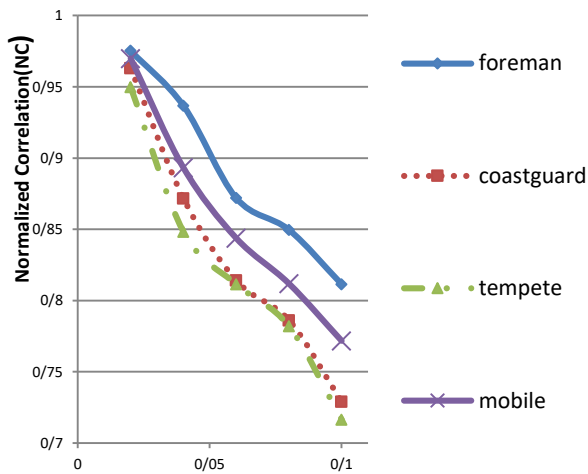
جایی که  $v_a$  (ویدئو بعد از نهان نگاری) بلوک نهان نگاری شده در ویدئو را نشان می‌دهد.

#### استخراج امضا

در فرآیند استخراج امضا، ابتدا ناحیه نهان نگاری شده در دنباله ویدئو انتخاب می‌شود (شکل ۴). ناحیه نهان نگاری شده طبق (۷) و (۸) به ستون‌های زوج و فرد تقسیم می‌شود. تبدیل سه بعدی سه سطحی (۹) و (۱۰) روی قطعات زوج و فرد اعمال می‌شود تا ضرایب تبدیل به دست آید. زیرباندهای پارانرژی در قسمت‌های فرد و زوج برای استخراج امضا از هم جدامی شوند. ضرایب در رزولوشن‌های با انرژی بالا به صورت زیر برای به دست آوردن بیت‌های امضا مقایسه می‌شوند:

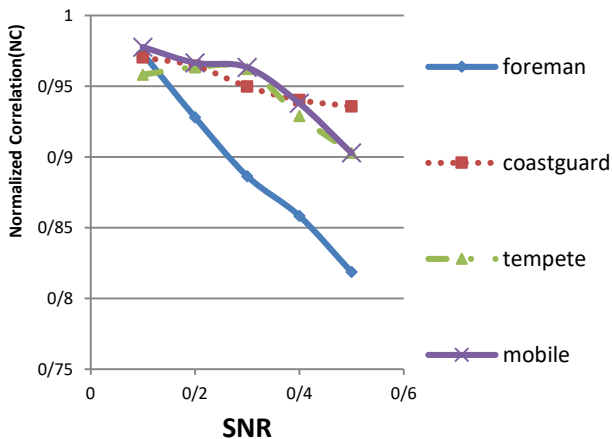
$$if\ ca_{L_3d_0}(i,j,k) > ca_{L_3d_e}(i,j,k) \rightarrow wa = 1 \quad (18)$$

## 2.4. حمله نویز گوسی



شکل ۶: اعمال حمله فلفل-نمک بر روی ویدئوهای نهان نگاری شده

مشابه نویز نمک-فلفل، نویز گوسی حمله‌ای است که به طور قابل توجهی بر کیفیت امضای استخراج شده در بسیاری از روش‌های نهان نگاری ویدئویی کور نظیر [18] [19] [20] [21] تأثیری گذارد. NC امضاهای استخراج شده با روش پیشنهادی تحت حملات مختلف نویز گوسی در شکل ۷ و جدول ۳ آورده شده است. نتایج، نشانگر استحکام راهکار پیشنهادی در برابر حمله نویز گوسی است.



شکل ۷: اعمال حمله گوسی بر روی ویدئوهای نهان نگاری شده

جدول ۳: اعمال حمله گوسی بر روی ویدئوهای نهان نگاری شده

SNR	foreman		coastguard		tempete		mobile	
	امضا	NC	امضا	NC	امضا	NC	signature	NC
0.1		0.9731		0.9702		0.9580		0.9775
0.2		0.9280		0.9644		0.9632		0.9664
0.3		0.8864		0.9496		0.9621		0.9631

آورده شده است. PSNR برای تمام سکانس‌های ویدئو بالاتر از ۴۸ دسی-بل<sup>۲۱</sup> است که نشان دهنده کاهش جزئی در کیفیت ویدئوی نهان نگاری شده با روش پیشنهادی است. علاوه بر این، بالاترین PSNR در جدول ۱ به سکانس ویدئوی foreman تعلق دارد زیرا وضوح و تعداد فریم بالاتری در بین ویدئوهای نهان نگاری شده دارد و از این رو برای گنجاندن مقدار مشابهی از داده با حداقل تخریب در مقایسه با سایر ویدئوها مواجه خواهد شد.

جدول ۱: PSNR ویدئوهای نهان نگاری با روش پیشنهادی

ردیف	Video	PSNR (dB)
1	Mobile	48.1145
2	tempete	49.4597
3	coastguard	49.2819
4	foreman	51.8179

در ادامه به بررسی استحکام روش پیشنهادی در برابر حملات مختلف می‌پردازیم.

## 1.4. حمله نویز فلفل-نمکی

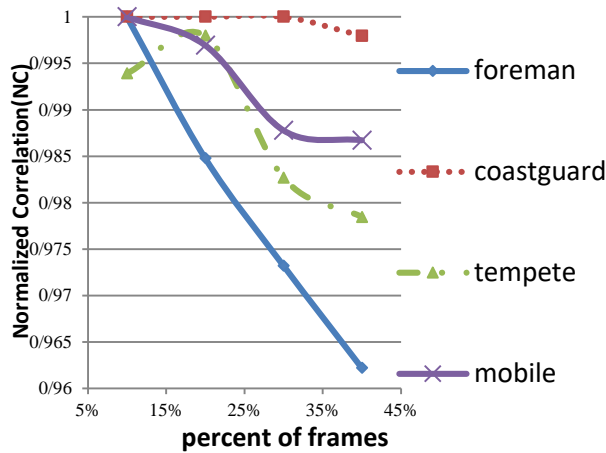
حمله نویز فلفل-نمکی بر بسیاری از روش‌های نهان نگاری ویدئو مقاوم نظیر [18] [19] [20] [21] تأثیر مخربی دارد. نتایج تجربی برای استحکام روش پیشنهادی در برابر حمله نویز فلفل-نمکی در جدول ۲ و شکل ۶ آورده شده است. مقادیر NC امضاهای استخراج شده بالاتر از ۰.۷۲ است که نشان دهنده استحکام بالای روش پیشنهادی در برابر این حمله است.

جدول ۲: اعمال حمله فلفل-نمک بر روی ویدئوهای نهان نگاری شده

SNR	foreman		coastguard		Tempete		Mobile	
	امضا	NC	امضا	NC	امضا	امضا	امضا	NC
0.01		0.9752		0.9630			0.9496	0.9698
0.04		0.9367		0.8717			0.8483	0.8931
0.06		0.8719		0.8141			0.8114	0.8438
0.08		0.8496		0.7861			0.7819	0.8119
0.1		0.8114		0.7290			0.7164	0.7717

زیر باند فرکانس پایین کمترین تأثیر را از نویز فلفل-نمکی با فرکانس بالا می‌پذیرد. با توجه به اینکه راهکار پیشنهادی امضا را در زیر باند فرکانس پایین ناشی از اعمال تبدیل سه بعدی سه سطحی ویدئو می‌گنجد، کمترین میزان تأثیر را از این حمله پذیرفته است.

سکانس‌هایی که وضوح بالاتر و بردار حرکتی غنی‌تری دارند، استحکام به خوبی ویدئو coastguard نیست، اگرچه استحکام هنوز بالاست.



شکل ۸: اعمال حمله میانگین‌گیری بر روی ویدئوهای نهان‌نگاری شده

#### 4.4. حمله فشرده‌سازی JPEG 2000

در این حمله، ویدئوها توسط رمزگذار MOTION JPEG 2000 با نسبت‌های مختلف فشرده‌سازی از ۲,۳۳٪ تا ۱۰٪ کدگذاری می‌شوند. امضاهای استخراج‌شده و NC آن‌ها در جدول ۵ و شکل ۹ آورده شده‌است.

جدول ۵: اعمال حمله فشرده‌سازی JPEG 2000 بر روی ویدئوهای

نهان‌نگاری شده

نسبت فشرده‌سازی	Foreman		coastguard		tempete		Mobile	
	امضا	NC	امضا	NC	امضا	NC	امضا	NC
3.333%		1		0.9513		1		0.9959
4%		1		0.9721		1		0.9525
5%		0.9948		0.9649		0.9867		0.9153
6.66%		1		0.8754		0.9594		0.8656
10%		0.9918		0.6613		0.8780		0.7478

0.4		0.8583		0.9401		0.9288		0.9379
0.5		0.8186		0.9357		0.9029		0.9027

NC امضای استخراج‌شده با چگالی نویز  $2^2$ ، ۵، بالای ۰,۸۱ است که نشان‌دهنده استحکام مناسب راهکار پیشنهادی در برابر حمله نویز گوسی است.

#### 3.4. حمله میانگین‌گیری

حمله میانگین‌گیری بر روی فریم  $R_k$  به صورت زیر انجام می‌شود:

$$AVG(R_k) = \frac{(R_{k-1} + R_k + R_{k+1})}{3} \quad (21)$$

شکل ۸ و جدول ۴ NC امضای استخراج‌شده را برای حملات میانگین‌گیری فریم ویدئوهای مختلف نشان می‌دهند.

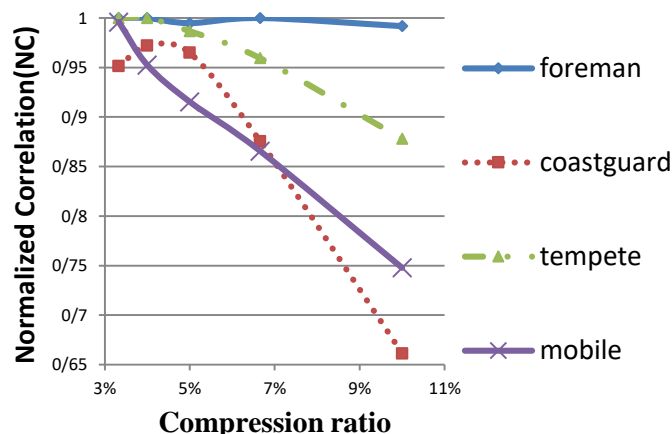
جدول ۴: اعمال حمله میانگین‌گیری فریم بر روی ویدئوهای نهان‌نگاری شده

فریم	foreman		coastguard		tempete		Mobile	
	امضا	NC	امضا	NC	امضا	NC	امضا	NC
10%		1		1		0.9939		1
20%		0.9847		1		0.9979		0.9969
30%		0.9732		1		0.9826		0.9877
40%		0.9622		0.9979		0.9784		0.9867

نتایج ارائه‌شده در جدول ۴ و شکل ۸ نشان می‌دهد که روش پیشنهادی در برابر حمله میانگین‌گیری از استحکام خوبی برخوردار است حتی زمانی که به طور متوسط ۴۰ درصد از تعداد کل فریم‌ها در سکانس‌های ویدئویی آزمایش‌شده مورد حمله قرار گیرد. NC بالا در coastguard به این دلیل است که فرکانس مکانی و زمانی پایینی دارد، از این رو فریم‌های میانگین بسیار شبیه به فریم‌های اصلی است. در حالی که برای سایر



نتایج نشان می‌دهد که روش پیشنهادی در تمامی ویدئوها برای



نسبت‌های فشرده‌سازی زیر ۱۰ درصد استحکام خوبی در برابر این حمله دارد. این در حالی است که ویدئوی foreman حتی در نسبت تراکم ۱۰ درصد نیز استحکام خوبی دارد. دلیل استحکام بالای ویدئوی foreman این است که وضوح و تعداد فریم بالاتری نسبت به سایر سکانس‌های ویدئویی دارد که با امضای مشابه نهان‌نگاری شده‌اند.

#### ۵.۴. حمله حذف فریم

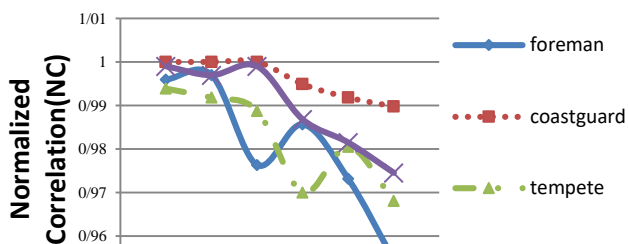
در این حمله تعدادی از فریم‌ها را دورمی‌اندازیم و آن‌ها را با میانگین فریم‌های مجاور آن‌ها جایگزین می‌کنیم. قدرت این حمله با توجه به نسبت فریم‌های جایگزین شده به تعداد کل فریم‌ها اندازه‌گیری می‌شود. جدول ۶ و شکل ۱۰ امضاهای استخراج شده و NC آن‌ها را برای نسبت فریم‌های حذف شده از ۱۰٪ تا ۶۰٪ نشان می‌دهد.

جدول ۶: اعمال حمله حذف فریم بر روی ویدئوهای نهان‌نگاری شده

نسبت حذف فریم	foreman		coastguard		tempete		mobile	
	امضا	NC	امضا	NC	امضا	NC	امضا	NC
10%		0.9959		1		0.9938		0.9989
20%		0.9969		1		0.9918		0.9969
30%		0.9763		1		0.9887		0.9989
40%		0.9856		0.9948		0.9700		0.9867
50%		0.9731		0.9918		0.9805		0.9814
60%		0.9545		0.9897		0.9680		0.9745

نتایج ارائه شده نشان‌دهنده استحکام قابل قبول روش پیشنهادی در برابر حمله حذف فریم است. از آنجاکه امضا در زیر باند LLL تعبیه شده است و زیر باند LLL بیشترین همبستگی را در فریم‌های متوالی دارد، جایگزینی فریم حذف شده با میانگین دو فریم همسایه باعث تاثیر ناچیزی بر روی داده‌ها می‌شود. موارد ذکر شده با نتایج به دست آمده از شکل ۹: اعمال حمله JPEG 2000 بر روی ویدئوهای نهان‌نگاری شده

حذف فریم مطابقت دارد. برای نمونه سکانس coastguard در برابر حذف فریم استحکام بالایی از خود نشان می‌دهد، زیرا میانگین‌گیری فریم بسیار شبیه به حذف فریم است و تنها تفاوتشان این است که در حمله میانگین‌گیری، فریم فعلی در میانگین‌گیری استفاده می‌شود اما در حذف فریم فقط از فریم‌های مجاور استفاده می‌شود. از آنجاکه در حمله میانگین‌گیری، فریم فعلی نیز در میانگین‌گیری استفاده می‌شود،



شکل ۱۰: اعمال حمله حذف فریم بر روی ویدئوهای نهان‌نگاری شده

#### ۶.۴. حمله تغییر اندازه

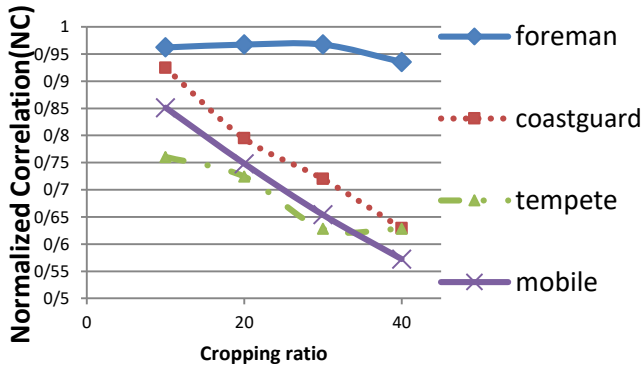
انتظار می‌رود که استحکام این حمله بیشتر از حذف فریم باشد و نتایج ارائه شده در جدول ۶ و جدول ۴ این ادعا را تأیید می‌کند.

در این حمله، ارتفاع و عرض فریم‌ها را کاهش دادیم و جهت رسیدن به اندازه اصلی به اطراف قاب نواحی سیاه اضافه می‌کنیم. نتایج حاصل از این حمله در جدول ۷ و شکل ۱۱ آورده شده است. نتایج ارائه شده نشان می‌دهد که NCهای به دست آمده کمتر از ۰.۶۶ هستند که به این معنی است که روش پیشنهادی نمی‌تواند در برابر حمله تغییر اندازه فریم‌ها مقاومت زیادی از خود نشان دهد. دلیل NC پایین‌تر این است که تغییر اندازه مکان ضرایب تعبیه شده را تغییر می‌دهد و این امر بر روند استخراج امضا تأثیر نامناسبی می‌گذارد.

جدول ۷: اعمال حمله تغییر اندازه بر روی ویدئوهای نهان‌نگاری شده

تغییر اندازه	Foreman		coastguard		tempete		Mobile	
	امضا	NC	امضا	NC	امضا	NC	امضا	NC
1%		0.4804		0.6063		0.6578		0.6382
2%		0.4840		0.5041		0.5239		0.5168
3%		0.5082		0.4765		0.4828		0.4833
4%		0.4390		0.5196		0.5277		0.5477
5%		0.4485		0.4891		0.5037		0.5066
6%		0.4600		0.5444		0.4887		0.4923

30 %		0.9675		0.7200		0.6279		0.6537
40 %		0.9355		0.6292		0.6279		0.5723



شکل ۱۲: اعمال حمله برش بر روی ویدئوهای نهان نگاری شده

#### ۸.۴. حمله فشرده سازی H.264

برای نسبت‌های مختلف فشرده‌سازی H.264 نتایج در جدول ۹ و شکل ۱۳ آورده شده است. نتایج تجربی نشان می‌دهد که روش پیشنهادی عملکرد قابل قبولی برای فشرده‌سازی با نسبت ۱:۱۰ دارد. اما در نسبت‌های فشرده‌سازی بالاتر، استحکام برای کل سکانس‌های ویدئویی آزمایش شده کاهش می‌یابد. با در نظر گرفتن میزان استحکام روش پیشنهادی در فشرده‌سازی‌هایی نظیر Motion JPEG 2000 و H.264، می‌توانیم نتیجه‌گرفت کوانتیزاسیون<sup>۲۳</sup> در حوزه تبدیل (که در این استانداردهای کدگذاری ویدئویی استفاده می‌شود)، می‌تواند روش‌های

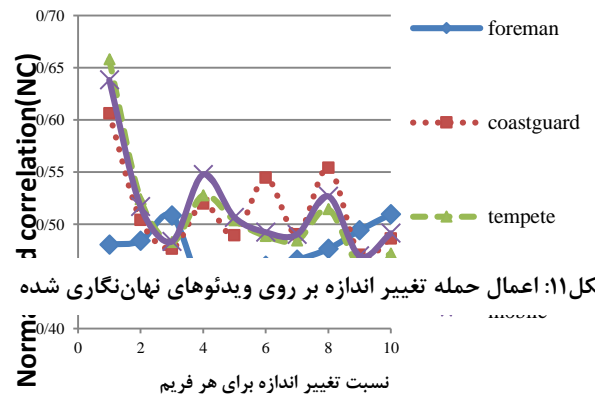
جدول ۱۱: مقایسه [۲۲] با روش پیشنهادی در برابر حملات

#### چرخشی و برش

Methods	Rotation			Cropping		
	5°	10°	15°	10%	20%	30%
	رامکار پیشنهادی [22]	0.9859	0.978	0.9768	0.9622	0.9675
	1	0.88	0.65	1	0.95	0.9

نهان نگاری در دامنه تبدیل را به شدت تحت تأثیر قرار دهد.

7%		0.4660		0.4902		0.4845		0.4902
8%		0.4763		0.5540		0.5143		0.5267
9%		0.4941		0.4706		0.4594		0.4695
10%		0.5096		0.4861		0.4719		0.4913



شکل ۱۱: اعمال حمله تغییر اندازه بر روی ویدئوهای نهان نگاری شده

#### ۷.۴. حمله برش

در این حمله قسمت‌های مختلف قاب‌ها را با رنگ سفید رنگ می‌کنیم. NC امضای استخراج شده در شکل ۱۲ و جدول ۸ آورده شده است. ویدئوی Foreman بالاترین NC را در بین ویدئوهای آزمایش شده به دست می‌آورد زیرا در این دنباله ویدئویی ناحیه‌ای که برای نهان نگاری انتخاب شده با توجه به اندازه کل فریم استفاده می‌شود، کوچکترین است. در نتیجه، احتمال بیشتری وجود دارد که در این سکانس ویدئو، ناحیه نهان نگاری شده کمتر تحت تأثیر حمله برش در مقایسه با سایر سکانس‌های ویدئویی آزمایش شده، قرار گرفته باشد. مقادیر بالای NC های حاصل نشان می‌دهد که روش پیشنهادی را می‌توان در برابر حمله برش زیر ۳۰ درصد مقاوم در نظر گرفت. علاوه بر این، نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که استحکام در سکانس‌های ویدئویی با وضوح بالاتر و حرکت غنی (mobile و tempete) کمتر از ویدئو coastguard است.

جدول ۸: اعمال حمله برش بر روی ویدئوهای نهان نگاری شده

نسبت برش	foreman		coastguard		Tempete		Mobile	
	امضا	NC	امضا	NC	امضا	NC	امضا	NC
	10 %		0.9622		0.9245		0.7602	
20 %		0.9675		0.7947		0.7240		0.7480

جدول ۱۰: مقایسه روش پیشنهادی با [20]

Attacks	salt and paper (0.01)		Gussian Filter [5 x 5], sigma=0.4		Circular Averaging Filter r=0.6		Gussian Noise (0, 0.0001)	
	راهکار	[20]	راهکار	[20]	راهکار	[20]	راهکار	[20]
mobile	0.89	0.9816	0.83	1	0.88	1	0.89	1
carphone	0.88	0.9878	0.98	1	0.98	1	0.88	1
tempete	0.9	0.9747	0.83	1	0.84	1	0.87	1
Flower	0.8	0.998	0.92	1	0.92	1	0.85	1

حملات نویز تنها حملاتی هستند که در [19] دارای شرایط آزمون هستند. جدول ۱۲ نتایج مقایسه حملات نویز [19] با راهکار پیشنهادی را نشان می‌دهد.

جدول ۱۲: مقایسه [19] با روش پیشنهادی در برابر حملات نویز

حملات	فلفل-نمکی (density=0.001)	گوسی (mean=0, variance=0.001)
[19]	0.97	0.972
روش پیشنهادی	1	1

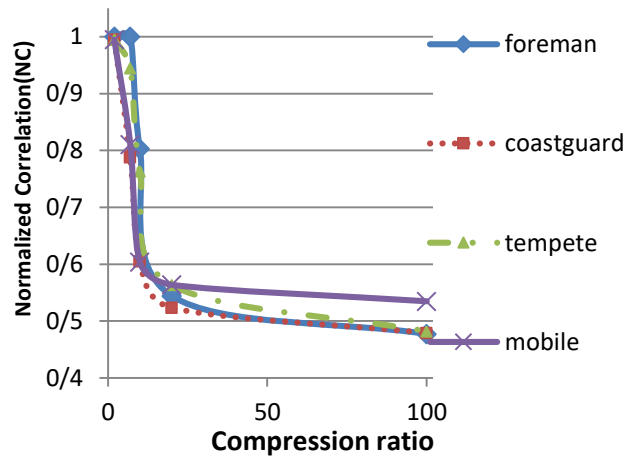
در ادامه عملکرد روش پیشنهادی را بر مبنای گزارش‌های نویسنده در [11] با روش ارائه شده در این مقاله بر روی ویدئوی foreman مقایسه می‌کنیم. ما از تصویر شطرنج به عنوان امضا استفاده می‌کنیم. مزیت استفاده از این امضا در بخش روش گنجاندن توضیح داده شده است. این در حالی است که در [11] از تصویر یک کاراکتر چینی به عنوان امضا استفاده شده است. دلیل اینکه ما روش خود را با روش [11] مقایسه می‌کنیم این است که هر دو روش از تبدیل‌های مشابهی برای نهن نگاری ویدئو استفاده می‌کنند. جدول ۱۳ عملکرد هر دو روش را در حمله حذف فریم نشان می‌دهد. اگرچه برای نرخ حذف پایین، روش [11] بهتر از روش پیشنهادی ما است، برای سایر نرخ‌های حذف، روش ما عملکرد مناسب‌تری از خود نشان می‌دهد. نتایج جدول ۱۴ عملکرد برتر روش پیشنهادی را در کل موارد میانگین‌گیری فریم نشان می‌دهد. نتایج حمله فلفل-نمک و حمله برش به ترتیب در جدول ۱۵ و ۱۶ آورده شده است. نتایج ارائه شده در جداول نشان می‌دهد که روش پیشنهادی در کل موارد استحکام بالاتری نسبت به راهکار ارائه شده در [۱۱] دارد. عملکرد روش پیشنهادی و روش [۱۱] در برابر حمله فشرده‌سازی H.264 در جدول ۱۷ آمده است. روش پیشنهادی ما در نسبت ۱۰:۱ از [۱۱] عملکرد بهتری دارد اما در نسبت‌های بالاتر [۱۱] عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهد.

جدول ۱۳: NC برای حمله حذف فریم

نرخ حذف فریم	[11]	روش پیشنهادی
25%	1	0.9867
50%	0.9871	0.9669
62.5%	0.8771	0.9516

جدول ۹: اعمال حمله فشرده‌سازی H.264 بر روی ویدئوهای نهن-نگاری شده

نسبت فشرده‌سازی	foreman		coastguard		Tempete		mobile	
	امضا	NC	امضا	NC	امضا	NC	امضا	NC
1:2		1		0.9949		0.9949		0.9949
1:7		1		0.7877		0.9445		0.8106
1:10		0.8031		0.6049		0.7633		0.6037
1:20		0.5441		0.5233		0.5632		0.5639
1:100		0.4772		0.4789		0.4818		0.5348



شکل ۱۳: اعمال حمله فشرده‌سازی H.264 بر روی ویدئوهای نهن-نگاری شده

در ادامه روش پیشنهادی با تعدادی دیگر از روش‌های نهن-نگاری مقایسه شده است. شایان ذکر است که تنها آن دسته از نتایج ذکر شده‌اند که امکان مقایسه آن‌ها با شرایط آزمون فراهم بوده است. جدول ۱۰ استحکام روش پیشنهادی را با [20] در برابر حملات مختلف مقایسه می‌کند. نتایج ارائه شده در جدول ۱۰ نشان‌دهنده عملکرد برتر روش پیشنهادی نسبت به [20] است. علت این برتری استفاده از تبدیل سه‌بعدی مناسب و عملکرد برتر الگوریتم گنجاندن امضا در روش پیشنهادی است.

جدول ۱۱ نتایج مقایسه استحکام روش پیشنهادی و روش در [22] را در برابر حمله چرخشی و برش فهرست می‌کند. نتایج ارائه شده در جدول ۱۱ نشان می‌دهد که روش پیشنهادی با تغییر شدت حمله پاسخ پایداری بیشتری ارائه می‌دهد و به‌طور متوسط نشان‌دهنده استحکام بالاتر راهکار پیشنهادی است.

*Dimensional Television*, Springer Berlin Heidelberg, 2008, pp. 427-470.

- [2] S. Lian, Y. Zhang, H. J. Park and P. Kitsos, "Secure Multimedia Communication," *SECURITY AND COMMUNICATION NETWORKS*, p. 437-440, 2008.
- [3] N. Narawade and R. Kanphade, "Reversible Watermarking: A Complete Review," *International Journal of Computer Science and Telecommunications*, vol. 2, no. 3, pp. 46-50, June 2011.
- [4] S. Iftikhar, M. Kamran and Z. Anwar, "A survey on reversible watermarking techniques for relational databases," *SECURITY AND COMMUNICATION NETWORKS*, vol. 8, no. 15, p. 2580-2603, October 2015.
- [5] L. Yang, Q. Chen, J. Tian and D. Wu, "Robust Track-and-Trace Video Watermarking," *SECURITY AND COMMUNICATION NETWORKS*, vol. 5, no. 4, p. 353-363, April 2012.
- [6] A. Sadik, M. Al-Taweel and P. Sumari, "Robust Video Watermarking Based On 3D-DWT Domain," in *TENCON 2009-2009 IEEE Region 10 Conference*, 2009.
- [7] Z. Huai-yu, L. Ying and W. Cheng-ke, "A Blind Spatial-temporal Algorithm Based on 3D Wavelet for Video Watermarking," in *Multimedia and Expo, 2004. ICME'04. 2004 IEEE International Conference on*, 2004.
- [8] Y. Li, X. Gao and H. Ji, "A 3D Wavelet Based Spatial-Temporal Approach for Video Watermarking," in *Computational Intelligence and Multimedia Applications, 2003. ICCIMA 2003. Proceedings. Fifth International Conference on IEEE*, 2003.
- [9] W. Y. P. Lei, "Video watermarking algorithm based on spatial domain contourlet-temporal wavelet transform," *Journal Of Electronic Measurement And Instrument*, vol. 24, no. 12, pp. 1088-1094, 2010.
- [10] A. Essauabi, E. Ibnelhaj, "A 3D Wavelet -Based Method for Digital Video Watermarking," in *Networked Digital Technologies, 2009. NDT '09. First International Conference on IEEE*, 2009.
- [11] D. Pu, L. Yinghua and D. Jiangyan, "Video Watermarking Approach Based on Temporal Difference And Discrete Wavelet Transform," in *Computer Science and Information Technology (ICCSIT), 2010 3rd IEEE International Conference on*, 2010.
- [12] Y. G. Fu, "Robust Video Watermarking Scheme based on 3D DCT," in *Computer Application and System Modeling (ICCSM), 2010 International Conference on*, 2010.
- [13] Yubo Zhang, Hongbo Bi, "A Robust Blind Video Watermarking Scheme in the 3D-DCT Domain," in *2011 International Conference in Electrics, Communication and Automatic Control Proceedings*, Springer New York, 2012, pp. 1009-1015.
- [14] B. R. GAURAV BHATNAGAR, "Wavelet packet transform-based robust video watermarking technique," *Indian Academy of Sciences*, vol. 37, no. 3, p. 371-388, June 2012.
- [15] S. Ranjbar, F. Zargari, et al, "A highly robust two-stage Contourlet-based digital image watermarking method," *Elsevier Signal Processing: Image Communication*, p. 1526-1536, November 2013.
- [16] A. Woiselle, J.-L. Starck, J. Fadili, "3D curvelet transforms and astronomical data restoration," *Applied and Computational Harmonic Analysis*, vol. 28, p. 171-188, 2010.

جدول ۱۴: NC برای حمله میانگین گیری فریم

نسبت فریم های متوسط	[11]	روش پیشنهادی
5%	1	1
6%	0.9643	1
7%	0.9657	1
8%	0.7057	1

جدول ۱۵: NC برای حمله فلفل-نمک

SNR	NC در [11]	NC در روش پیشنهادی
0.005%	1	0.9990
0.01%	0.8943	0.9928
0.012%	0.8271	0.9897
0.015%	0.7684	0.9825

جدول ۱۶: NC برای حمله برش

نسبت برش	[11]	روش پیشنهادی
10%	0.8643	0.9622
20%	0.8314	0.9675
30%	0.7986	0.9675
40%	0.7543	0.9355

جدول ۱۷: NC برای حمله فشرده سازی H.264

نرخ فشرده سازی	[11]	روش پیشنهادی
1:3	0.9694	1
1:6	0.9443	1
1:10	0.8000	0.8031
1:20	0.7743	0.5441

## ۵. نتیجه گیری

در این مقاله یک روش نهان نگاری ویدئو کور بر اساس تبدیل ترکیبی سه بعدی پیشنهاد شد. روش پیشنهادی از تبدیل کانتورلت در حوزه فضایی برای فریم‌ها در دنباله ویدئو و تبدیل موجک یک بعدی در حوزه زمانی استفاده می‌کند. در روش پیشنهادی کاهش کیفیت ویدئوی نهان نگاری کم است به طوری که در آزمایش‌های انجام شده PSNR ویدئوهای نهان نگاری شده بالاتر از ۴۸ دسی بل است. علاوه بر این نتایج تجربی نشان دهنده استحکام بالای روش پیشنهادی در برابر طیف وسیعی از حملات ویدئویی از جمله نویز نمک-فلفل، نویز گوسی، حذف فریم، میانگین گیری فریم، فشرده سازی و برش است. مقایسه روش پیشنهادی با روش دیگری مبتنی بر تبدیل کانتورلت در [11] نشان دهنده عملکرد بهتر روش پیشنهادی در اکثر حملات است. بر مبنای نتایج تجربی به دست آمده روش پیشنهادی می‌تواند در طیف گسترده‌ای از برنامه‌های نهان نگاری ویدئویی استفاده شود.

## مراجع

- [1] Alper Koz, George A. Triantafyllidis, A. Aydin Alatan, "3D Watermarking: Techniques and Directions," in *Three-*

- [21] MOHAMED S. YASEIN and PAN AGATHOKLIS, "A WAVELET-BASED BLIND IMAGE DATA EMBEDDING ALGORITHM," *Journal of Circuits, Systems, and Computers*, vol. 17, pp. 107-122, 2008.
- [22] O. S. F. Allah, "Efficient video watermarking based on singular value decomposition in the discrete wavelet," *International Journal of Electronics and Communications*, March 2013.
- [17] D. N. babu and D. Jagadeesh, "A Blind and Robust Video Watermarking Technique in DCT Domain," *International Journal of Engineering and Innovative Technology*, vol. 2, no. 2, pp. 128-132, August 2012.
- [18] A. Mansouri, A. Mahmoudi Aznaveh, F. Torkamani-Azar and F. Kurugollu, "A Low Complexity Video Watermarking in H.264 Compressed Domain," *IEEE TRANSACTIONS ON INFORMATION FORENSICS AND SECURITY*, Vols. VOL. 5, NO. 4, pp. 649-657, december 2010.
- [19] S.Sinha; et al, "Digital Video Watermarking using Discrete Wavelet Transform and Principal Component Analysis," in *Digital video watermarking using discrete wavelet transform and principal component analysis*, 2011.
- [20] G. Kasana, K. Singh and S. Singh Bhatia, "Block-Based High Capacity Multilevel Image Steganography," *Journal of Circuits, Systems, and Computers*, vol. 25, p. 21, 2016.

### پی نوشت

- |                                      |                                    |
|--------------------------------------|------------------------------------|
| <sup>13</sup> frame swapping         | <sup>1</sup> copyright             |
| <sup>14</sup> Gaussian               | <sup>2</sup> signal processing     |
| <sup>15</sup> cropping               | <sup>3</sup> Communication Theory  |
| <sup>16</sup> salt and peppers       | <sup>4</sup> information hiding    |
| <sup>17</sup> anisotropy             | <sup>5</sup> fingerprinting        |
| <sup>18</sup> multi-scale            | <sup>6</sup> authentication        |
| <sup>19</sup> Matlab                 | <sup>7</sup> covert communications |
| <sup>20</sup> normalized correlation | <sup>8</sup> robust                |
| <sup>21</sup> db                     | <sup>9</sup> fragile               |
| <sup>22</sup> noise density          | <sup>10</sup> reversible           |
| <sup>23</sup> quantization           | <sup>11</sup> frame dropping       |
|                                      | <sup>12</sup> frame averaging      |