

مقایسه‌ی نهان‌نگاری سیگنال صوت در تصویر با استفاده از روش‌های حوزه‌ی تبدیل

محمد شهاب گلی^۱، علیرضا نقش^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی برق، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، اصفهان، ایران،

m.shahabgoli0015@yahoo.com

۲- استادیار، دانشکده مهندسی برق، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، اصفهان، ایران،

naghsh.a@pel.iaun.ac.ir

چکیده- با پیشرفت تکنولوژی در عصر کنونی اهمیت امنیت اطلاعات، بیش از پیش احساس می‌شود. در هنگام ارسال اطلاعات باید آن را در برابر حملات احتمالی مقاوم کرد. یکی از روش‌هایی که می‌توان از آن، در راستای تحقق این امر استفاده نمود مخفی کردن اطلاعات مهم در اطلاعات کم‌ارزش است. تصویر به دلیل دارا بودن حجم بالای از اطلاعات می‌تواند میزبان خوبی برای داده‌های مختلف از جمله صوت باشد. در این مقاله برای نهان‌نگاری صوت در تصویر از روش‌های حوزه‌ی تبدیل استفاده شده است. این روش‌ها اگرچه از ظرفیت کمی برخوردار هستند اما دارای مقاومت بیشتری در برابر حملات حوزه‌ی مکان از جمله برش، نویز نمک و لفل و حتی فشرده‌سازی هستند. نتایج بدست آمده گویای این مطلب است که می‌توان صوت را به عنوان یک داده به راحتی در شکل تبدیل یافته‌ی تصویر میزبان، نهان‌نگاری کرد و به مقصد ارسال نمود در حالی که هیچ آسیبی به تصویر میزبان و اطلاعات صوتی وارد نشود. روش تبدیل تجزیه مقدار منفرد نسبت به روش‌های تبدیل موجک و تبدیل کسینوسی دارای ظرفیت بیشتری برای جاسازی اطلاعات است و می‌توان اطلاعات صوتی با زمان بیشتری را با این روش نهان‌نگاری کرد.

کلید واژه- تصویر میزبان، حوزه‌ی مکان، حوزه‌ی تبدیل، صوت، نهان‌نگاری تصویر دیجیتال

معنای دور از دسترس قرار دادن اطلاعات مورد نظر و جاسازی آن درون

اطلاعات بی ارزش دیگر است.

۱- مقدمه

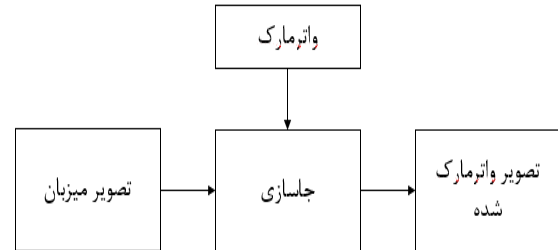
مخفی کردن اطلاعات نیز خود شامل دو روش پنهان‌سازی و نهان‌نگاری است [1].

در روش پنهان‌سازی پیام باید غیر قابل رویت باشد ولی در روش نهان‌نگاری پیام می‌تواند در دو شکل قابل رویت و غیرقابل رویت به کار رود که این یک مزیت مهم نسبت به روش پنهان‌سازی به شمار می‌آید. نهان‌نگاری به معنای جاسازی اطلاعات مهم در اطلاعات بی‌ارزش می‌باشد و یکی از راه‌های مناسبی است که می‌توان بوسیله‌ی آن امنیت ارسال داده را افزایش داد. در نهان‌نگاری به اطلاعات مهمی که هدف، حفظ امنیت آن است واترمارک و داده‌ی که این اطلاعات مهم در آن جاسازی می‌شود را میزبان گویند. نهان‌نگاری دیجیتال قرار دادن اطلاعات مهم در ساختار باینری داده‌ی میزبان است [2].

امروزه اینترنت به عنوان یک سیستم مهم مخابراتی برای تبادل اطلاعات در زندگی روزمره‌ی مردم از جایگاه ویژه‌ی برخوردار می‌باشد. در هر سیستم مخابراتی هدف ارسال اطلاعات از نقطه‌ی به نقطه‌ی دیگر است. این اطلاعات می‌توانند شامل تصویر، متن، ویدئو و صوت باشند که به آن‌ها داده گفته می‌شود. افزایش کیفیت داده‌ها و همچنین امنیت در ارسال آن‌ها از جمله مشخصات مهم انتقال اطلاعات به شمار می‌آید [1].

برای افزایش امنیت داده‌ها می‌توان از دو روش رمزنگاری و مخفی کردن اطلاعات استفاده نمود. اما از آنجا که در روش رمزنگاری در صورتی که کلید آشکار شود، دیگر امنیت داده تضمینی نخواهد داشت، معمولاً از روش دوم استفاده می‌شود. مخفی کردن اطلاعات به

اطلاعاتی که از آن به عنوان میزبان استفاده می‌شود می‌توانند در شکل تصویر، ویدئو، صوت و حتی متن باشند. در صورتی که تصویر به عنوان میزبان انتخاب شود به آن نهان‌نگاری دیجیتال تصویر می‌گویند. در شکل ۱ مراحل نهان‌نگاری تصویر قابل مشاهده است [3].



شکل ۱: مراحل نهان‌نگاری تصویر

اطلاعات تصویر میزبان را در خود جای دادند جاسازی واترمارک در آن‌ها تغییری در ساختار کلی تصویر میزبان ایجاد نمی‌کند و از این طریق می‌توان اطلاعات مهمی را در اطلاعات کم‌ارزش جاسازی نمود و از حملات مختلف در امان نگاه داشت [4].

نهان‌نگاری در حوزه‌ی مکان علی‌رغم داشتن مزایای از جمله ساده بودن، سرعت بالا و ظرفیت زیاد دارای مشکلاتی نیز هست. جاسازی اطلاعات واترمارک در تصویر میزبان به شکل مکانی سبب می‌شود که این روش در برابر حملاتی که در حوزه‌ی مکانی صورت می‌پذیرد مقاوم نباشد. حملاتی از جمله برش، نویز نمک و فلفل و چرخاندن. به همین دلیل حوزه‌ی دیگری برای نهان‌نگاری مطرح می‌شود که در برابر این‌گونه حملات مقاوم باشد و به آن حوزه‌ی تبدیل گفته می‌شود [5].

۲-۲- نهان‌نگاری در حوزه‌ی تبدیل

در نهان‌نگاری حوزه‌ی تبدیل اطلاعات واترمارک در شکل تبدیل یافته‌ی تصویر میزبان جاسازی می‌گردند و به این ترتیب در برابر حملات مکانی دارای مقاومت زیادی هستند. نهان‌نگاری در حوزه‌ی تبدیل خود شامل روش‌های مختلفی است که می‌توان با بهره‌بردن از آن‌ها عمل نهان‌نگاری را انجام داد. در این مقاله از سه روش پرکاربرد نهان‌نگاری در حوزه‌ی تبدیل برای جاسازی صوت در تصویر استفاده شده است. روش‌های مورد استفاده شامل تبدیل موجک گسسته (DWT)، تبدیل کسینوسی گسسته (DCT) و تجزیه مقدار منفرد (SVD) می‌باشند [6].

۲-۲-۱- تبدیل موجک گسسته

تبدیل موجک گسسته روشی است که در حوزه‌ی فرکانس مورد استفاده قرار می‌گیرد. با اعمال تبدیل موجک گسسته بر روی تصویر می‌توان آن را به چهار بخش مختلف از لحاظ فرکانس تقسیم کرد. این بخش‌ها شامل تصویر تخمینی (LL)، جزئیات افقی (HL)، جزئیات عمودی (LH) و جزئیات قطری یا مورب (HH) خواهد بود. بیشترین انرژی تصویر اصلی، در بخش تصویر تخمینی قرار دارد. با اعمال مجدد تبدیل موجک گسسته بر روی بخش تصویر تخمینی می‌توان آن را به چهار زیر بخش دیگر افزایش داد. در شکل ۲ نمایشی از

تصویر به علت حجم بالای اطلاعاتی که دارد، میزبان خوبی برای جاسازی اطلاعات مختلف به شمار می‌آید. در گذشته مقالات زیادی در خصوص نهان‌نگاری تصویر در تصویر مطرح شده و در آن‌ها به تشریح روش‌های مختلفی پرداخته‌اند که بوسیله آن می‌توان یک تصویر را در ساختار باینری تصویر دیگر نهان‌نگاری کرد. در این مقاله سعی شده است که از تصویر به عنوان پوششی امن برای داده‌های صوتی استفاده شود. نهان‌نگاری تقسیم‌بندی‌های مختلفی دارد اما از لحاظ حوزه‌ی کاری می‌توان به دو حوزه‌ی مکان و حوزه تبدیل اشاره کرد [1].

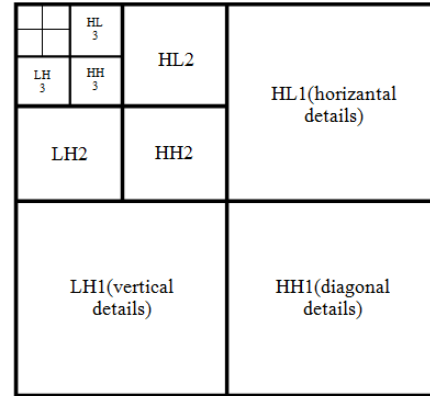
نهان‌نگاری‌های صوتی صورت گرفته در این مقاله در حوزه‌ی تبدیل می‌باشند که از لحاظ استقامت در برابر حملات مختلف نسبت به حوزه‌ی مکان مقاوم‌تر خواهند بود.

۲- نهان‌نگاری در حوزه‌ی مکان و حوزه‌ی تبدیل

۲-۱- نهان‌نگاری در حوزه‌ی مکان

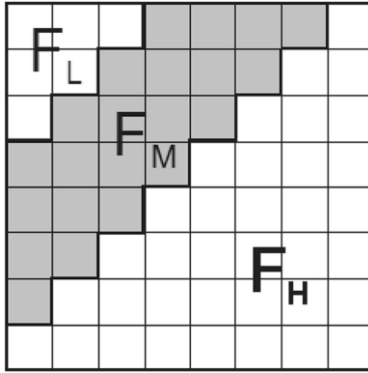
نهان‌نگاری در حوزه‌ی مکان به این صورت است که اطلاعات واترمارک به طور مستقیم در تصویر میزبان قرار می‌گیرند. به نحوی که ابتدا تصویر میزبان به بیت‌های تشکیل دهنده‌ی خود تجزیه می‌شود سپس اطلاعات واترمارک در بیت‌های کم‌ارزش تصویر میزبان جاسازی می‌گردد. از آنجا که بیت‌های کم‌ارزش بخش کمی از

تقسیم‌بندی تصویر بعد از اعمال تبدیل موجک‌های گسسته‌ی متعدد بر روی آن مشاهده می‌شود [6].



شکل ۲: تجزیه موجک بر روی یک تصویر

تصویر است. تبدیل دو بعدی کسینوسی گسسته و عکس آن در روابط (۲) و (۳) داده شده است [9].



شکل ۳: معرفی نواحی ایجاد شده در تبدیل کسینوسی گسسته [9]

$$G(u, v) = \frac{2}{\sqrt{mn}} \alpha(u) \alpha(v) \sum_{x=0}^{m-1} \sum_{y=0}^{n-1} g(x, y) \times \cos \frac{(2x+1)u\pi}{2m} \times \cos \frac{(2y+1)v\pi}{2n} \quad (2)$$

$$g(x, y) = \frac{2}{\sqrt{mn}} \alpha(u) \alpha(v) \sum_{x=0}^{m-1} \sum_{y=0}^{n-1} G(u, v) \times \cos \frac{(2x+1)u\pi}{2m} \times \cos \frac{(2y+1)v\pi}{2n} \quad (3)$$

در روابط بالا $g(x, y)$ مقادیر حوزه‌ی مکان و $G(u, v)$ ضرایب DCT می‌باشند.

$$\alpha(u), \alpha(v) = \begin{cases} 1/\sqrt{2} & \text{if } u, v = 0 \\ 1 & \text{Else} \end{cases} \quad (4)$$

در این نوع از تبدیل، اطلاعات واترمارک در بخش فرکانس میانی تصویر جاسازی می‌شود [10].

۲-۲-۳- تبدیل تجزیه مقدار منفرد

هر ماتریس را می‌توان به صورت حاصل ضرب سه ماتریس نوشت.

در تبدیل موجک بخش‌های زیرین دارای انرژی کمتری هستند و می‌توان از همین ویژگی برای نهان‌نگاری استفاده کرد به نحوی که حاصل ضرب اطلاعات واترمارک در یک ضریب آلفا که کمتر از یک هست را در یکی از زیر بخش‌های تصویر میزبان جاسازی کرد. برای تجزیه تصویر به بخش‌های زیرین در تبدیل موجک می‌توان از رابطه‌ی زیر استفاده کرد.

$$E_K = \frac{1}{M_K N_K} \sum_i \sum_j |I_K(i, j)| \quad (1)$$

در رابطه‌ی بالا K نشان دهنده‌ی تعداد تجزیه تصویر، M_K و N_K نیز ابعاد زیر بخش متناسب با مقدار K می‌باشد [7,8].

۲-۲-۲- تبدیل کسینوسی گسسته

روش دیگری که در حوزه‌ی تبدیل برای نهان‌نگاری مطرح می‌شود تبدیل کسینوسی گسسته است. با اعمال این تبدیل تصویر به سه باند فرکانسی، فرکانس پایین (F_L)، فرکانس بالا (F_H) و فرکانس میانی (F_M) تقسیم می‌شود که در شکل ۳ به نمایش گذاشته شده است.

باند فرکانس پایین، حاوی بیشترین بخش از انرژی تصویر اصلی می‌باشد در حالی که باند فرکانس بالا دارای کمترین بخش از انرژی

در رابطه‌ی زیر این حاصل ضرب نمایش داده شده است.

$$A = USV^T \quad (5)$$

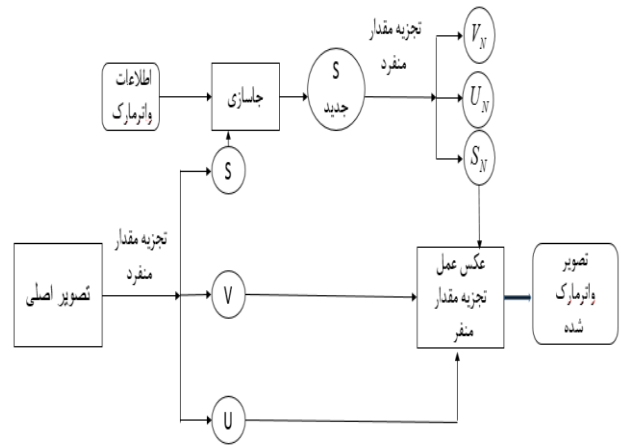
U و V ماتریس‌های متعامد و S یک ماتریس قطری با ابعاد ماتریس A می‌باشد.

در نهان‌نگاری با این روش ابتدا تصویر میزبان با استفاده از تجزیه مقدار منفرد به سه ماتریس مطابق رابطه ی (5) تجزیه می‌گردد سپس با استفاده از رابطه‌ی (6) اطلاعات واترمارک در ماتریس قطری تصویر میزبان جاسازی می‌شود.

$$S_N = S + \alpha \times W \quad (6)$$

در رابطه‌ی بالا S ماتریس قطری حاصل از اعمال تجزیه مقدار منفرد بر روی تصویر میزبان، α عددی بین صفر و یک و W تصویر واترمارک است [11,12].

این روش مانند روش‌های دیگری که در حوزه‌ی تبدیل مطرح شد دارای مقاومت زیادی در برابر حملات مختلف می‌باشد. در شکل 4 نمایشی کلی از نهان‌نگاری با این روش قابل مشاهده است.



شکل 4: نمایش نهان‌نگاری با روش تبدیل تجزیه مقدار منفرد

3- صوت به عنوان واترمارک

یکی از انواع داده‌ها صوت است. در این مقاله صوت به عنوان واترمارک در تصویر میزبان با سه روش مختلف در حوزه‌ی تبدیل نهان‌نگاری شده است. تصویر میزبانی که در این مقاله از آن استفاده شده تصویر استاندارد بابون از جعبه ابزار پردازش تصویر متلب است.

3-1- نهان‌نگاری صوت در تصویر با روش تبدیل موجک گسسته

در این روش ابتدا با اعمال تبدیل موجک گسسته تصویر بابون را به چهار بخش تبدیل کرده و سپس با اعمال مجدد تبدیل موجک بر روی تصویر تخمینی حاصل، آن نیز به چهار بخش کوچک‌تر افراز می‌شود. در ادامه اطلاعات واترمارک که در اینجا صوت است را از حالت آنالوگ به دیجیتال تبدیل کرده و به شکل یک ماتریس شامل مقادیر اعشاری که در برگزیده‌ی اطلاعات صوتی هستند در زیر بخش افقی از تصویر تخمینی جاسازی می‌شود. سپس با اعمال معکوس تبدیل موجک بر روی بخش‌های افراز شده، تصویر میزبان بازسازی و به حالت اولیه برگردانده می‌شود.

بدین ترتیب می‌توان صوت را در تصویر نهان‌نگاری کرد و تصویر واترمارک شده را به مقصد ارسال نمود. در مقصد برای استخراج صوت و اطلاعات واترمارک باید ابتدا تصویر واترمارک شده را با تبدیل موجک تجزیه کرد سپس بر روی تصویر تخمینی حاصل مجدداً تبدیل موجک اعمال کرد و از قسمت افقی که از اعمال تبدیل موجک ثانویه ایجاد می‌شود صوت را استخراج کرد.

3-2- نهان‌نگاری صوت در تصویر با روش تبدیل کسینوسی

گسسته

در این روش تصویر بابون با استفاده از تبدیل کسینوسی گسسته به سه باند فرکانسی تبدیل می‌گردد سپس اطلاعات واترمارک که همان صوت است با استفاده از رابطه‌ی زیر در باند فرکانس میانی تصویر میزبان جاسازی می‌شود.

$$C_W = C_C \times (1 + \alpha \times W) \quad (7)$$

در رابطه‌ی بالا W اطلاعات واترمارک، α ضریبی کوچکتر از یک،

C_C تصویر میزبان و C_W تصویر واترمارک شده است.

پس از جاسازی اطلاعات واترمارک در تصویر میزبان، تصویر حاصل که واترمارک شده است به مقصد ارسال می‌گردد. در مقصد برای استخراج اطلاعات واترمارک باید ابتدا بر روی تصویر واترمارک شده تبدیل کسینوسی اعمال شود سپس با استفاده از رابطه‌ی (۷) می‌توان صوت را از تصویر بایون استخراج نمود.

۳-۳- نهن نگاری صوت در تصویر با روش تبدیل تجزیه مقدار منفرد

در این روش ابتدا تصویر بایون توسط تجزیه مقدار منفرد به سه قسمت تجزیه می‌شود سپس صوت با استفاده از رابطه‌ی (۶) در ماتریس قطری جاسازی می‌گردد. ماتریس قطری جدید در بردارنده‌ی صوت است. با استفاده از عکس تبدیل تجزیه مقدار منفرد بر روی ماتریس قطری جدید و دو ماتریس متعامد حاصل شده از تصویر میزبان می‌توان تصویر واترمارک شده را ایجاد کرد. در مقصد برای استخراج صوت از تصویر واترمارک شده ابتدا بر روی تصویر تبدیل تجزیه مقدار منفرد اعمال می‌شود سپس با استفاده از ماتریس قطری حاصل و رابطه‌ی (۶) می‌توان صوت را از تصویر استخراج نمود. هر سه روش مطرح شده در حوزه‌ی تبدیل در برابر حملات مکانی بسیار مقاوم هستند و می‌توانند از اطلاعات واترمارک محافظت کنند.

۴- نتایج شبیه‌سازی

برای سنجش عملکرد نهن نگاری با روش‌های مختلف معیارهایی وجود دارد که می‌توان توسط آن‌ها روش‌های مختلف را با هم مقایسه کرد. از جمله این معیارها می‌توان به PSNR اشاره کرد. در جدول ۱ رابطه‌ی ریاضی این معیار قابل مشاهده است.

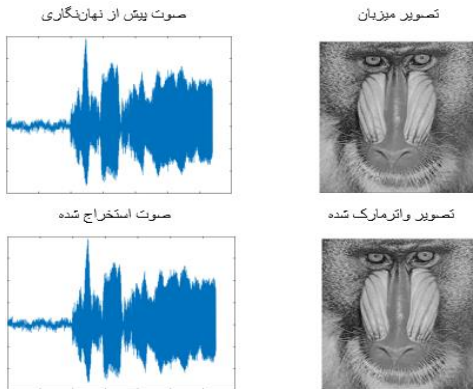
جدول ۱: ارزیابی کیفیت تصاویر واترمارک شده

معیار ارزیابی	رابطه‌ی ریاضی
PSNR	$10 \times \text{LOG}_{10} \left(\frac{\text{MAX}_I^2}{\text{MSE}} \right)$

۴-۱- نتایج نهن نگاری با روش تبدیل موجک

در روش تبدیل موجک، صوتی با زمان ۴ ثانیه در تصویر بایون نهن نگاری شده و نتایج حاصل از آن در شکل ۵ قابل مشاهده است.

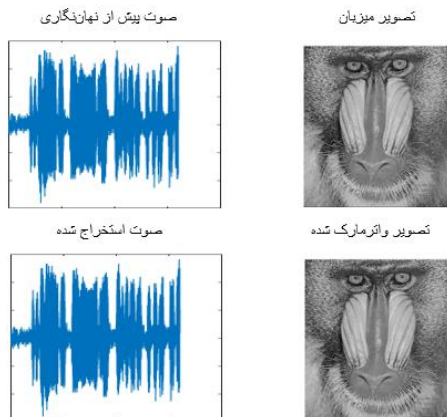
با توجه به شکل ۵ می‌توان دریافت که تصویر بایون پیش از نهن نگاری و پس از آن تغییری نکرده و این بدین معناست که با نهن نگاری صوت در تصویر، تصویر میزبان تغییری نخواهد کرد.



شکل ۵: نمایش نتایج پیش از نهن نگاری و پس از آن

۴-۲- نتایج نهن نگاری با روش تبدیل کسینوسی

در نهن نگاری با روش تبدیل کسینوسی، صوتی با زمان ۸ ثانیه در تصویر بایون نهن نگاری شده که نتایج حاصل از این روش در شکل ۶ به نمایش گذاشته شده است.



شکل ۶: نمایش نتایج پیش از نهن نگاری و پس از آن

۵- جمع‌بندی مقاله

در این مقاله با استفاده از سه روش پرکاربرد نهان‌نگاری در حوزه‌ی تبدیل، صوت در تصویر جاسازی شده است. نهان‌نگاری در حوزه‌ی تبدیل در برابر حملات حوزه‌ی مکان بسیار مقاوم‌تر است پس با نهان‌نگاری‌های انجام شده می‌توان امنیت اطلاعات واترمارک را تضمین کرد. با توجه به نتایج بدست آمده در جدول ۲ مشاهده شد که نهان‌نگاری با روش تبدیل موجک دارای ظرفیت کمتری برای جاسازی صوت نسبت به دو روش دیگر است زیرا در این روش باید اطلاعات واترمارک در بخش کمتری از تصویر میزبان جاسازی شود اما روش تبدیل تجزیه مقدار منفرد به دلیل آن که اطلاعات واترمارک در کل تصویر میزبان جاسازی می‌گردد دارای ظرفیت بیشتری است. نتیجه‌ی مهم دیگر در ارتباط با مقادیر PSNR بدست آمده در سه روش است. همانطور که از جدول ۲ قابل مشاهده است از لحاظ PSNR در روش تجزیه مقدار منفرد مقدار این معیار نسبت به دو روش دیگر بزرگ‌تر است هر چند که در روش‌های تبدیل کسینوسی و تجزیه مقدار منفرد مقدار PSNR دو روش تفاوت کمی نسبت به هم دارند اما این اختلاف این مقادیر نسبت به روش تبدیل موجک بسیار زیاد است. هر سه روش مطرح شده در هنگام استخراج به تصویر میزبان پیش از نهان‌نگاری احتیاج دارند که از این رو به این سه روش، روش‌های غیر کور گفته می‌شود.

در این روش نیز مانند روش تبدیل موجک، تصویر میزبان با نهان‌نگاری صوت تغییری نکرده و مقایسه‌ی نمودار آنالوگ صوت پیش از نهان‌نگاری و صوت استخراج شده در شکل ۶ نیز گویای این مطلب است که در این روش می‌توان صوت را به خوبی از تصویر واترمارک استخراج نمود.

۳-۴- نتایج نهان‌نگاری با روش تبدیل تجزیه مقدار منفرد

در نهان‌نگاری با این روش، صوتی با زمان ۲۰ ثانیه در تصویر بابون نهان‌نگاری شده و نتایج حاصل از آن در شکل ۷ قابل مشاهده است.



شکل ۷: نمایش نتایج پیش از نهان‌نگاری و پس از آن

در جدول ۲، PSNR حاصل در سه روش مطرح شده و همچنین میزان صوت نهان‌نگاری شده قابل مشاهده است.

جدول ۲: مقایسه روش‌های مختلف نهان‌نگاری صوت از لحاظ ظرفیت و PSNR

روش‌های نهان‌نگاری	PSNR	ظرفیت
تبدیل موجک	۵۸,۸۸۴۳ dB	۰,۲۵۶ MB
تبدیل کسینوسی	۱۰۷,۲۶۴۷ dB	۰,۵۱۲ MB
تبدیل تجزیه مقدار منفرد	۱۳۹,۸۲۳۶ dB	۱,۲۸ MB

مراجع

- [1] Seyed Mojtaba Mousavi, Alireza Naghsh, "Watermarking Techniques used in Medical Image:a survey", *Journal of Digital Imaging, Volume 27, Issue 6, pp 714-729, December 2014.*
- [2] Pan W, Coatrieux G, Cuppens-Boulahia N, Cuppens F, Roux C, "Medical image integrity control combining digital signature and lossless watermarking, in *Data Privacy Management and Autonomous Spontaneous Security In*" Garcia-Alfaro J, et al Eds. Springer Berlin: Heidelberg, 2010, pp 153-162.
- [3] Vinita Gupta, Atul Barve, "A Review on Image Watermarking and Its Techniques", *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, Volume 4, Issue 1, January 2014.*
- [4] Wu N-I, Hwang M-S "Data hiding current status and key issues" *Int J Netw Secur 4(1):1-9, 2007*

- [5] Muralikrishna Nangedda, Reddy A Sudharsan, “ **Medical Image Steganography with Digital Water Marking**”, *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, Volume 4, Issue 7, July 2014.
- [6] Heylena K, Dams T “**An image watermarking tutorial tool using matlab**” *Mathematics of Data/Image Pattern Recognition, Compression, and Encryption with Applications XI, Proc. of SPIE2008. 7075, 70750D: p. 1–12.*
- [7] Agreste S, Puccio L “**Wavelet-based watermarking algorithms**” *theory, applications and critical aspects. Int J Comput Math 88(9):1885–1895, 2011*
- [8] Giakoumaki A, Pavlopoulos S, Koutsouris D “**Multiple imagewatermarking applied to health information management**”. *InfTechnol Biomed IEEE Trans 10(4):722–732, 2006*
- [9] Ali M, Ahn CW, Pant M “ **A robust image watermarking techniqueusing SVD and differential evolution in DCT domain**”. *Opt Int J LightElectron Opt 125(1):428–434, 2014*
- [10] Zain JM, Clarke M “**Reversible region of non-interest (RONI)watermarking for authentication of DICOM images**”. *Int J ComputSci Netw Secur 7(9):19–28, 2007*
- [11] Arsalan M, Malik SA, Khan A “ **Intelligent reversible watermarking ininteger wavelet domain for medical images**”. *J Syst Softw 85(4):883–894, 2012*
- [12] Agreste S, Puccio L “**Wavelet-based watermarking algorithms**” *theory, applications and critical aspects. Int J Comput Math 88(9):1885–1895, 2011*