

ارائه روش نهان نگاری جدید مقاوم و دارای شفافیت بالا با استفاده از تبدیل قیچک و تبدیل SVD و الگوریتم PSO

مهدی سعادت^۱، دکتر جواد وحیدی^{۲*}، دکتر وحید صیدی^۳، دکتر پیمان شیخ الحرم مشهدی^۴

۱- دانشجوی دکتری، ۳ و ۴- استادیار، گروه مهندسی کامپیوتر، هوش مصنوعی، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- استادیار، گروه ریاضی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

(دریافت: ۱۳۹۷/۰۸/۲۵ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۰۲)

چکیده

نهان نگاری برای پنهان کردن یا اضافه کردن داده یا فایلی در فایل دیگر، به طوری که فقط افراد آگاه با ابزار لازم بتوانند به آن دست یابند و همچنین یکی از راه های حفاظت از داده های چند رسانه ای در برابر کپی برداری های غیرقانونی و توزیع غیرقانونی آن ها است. در روش های قبلی نهان نگاری، تصاویر دیجیتال بیشتر از روش هایی مانند تبدیلات فوریه و تبدیلات موجک و روش های ریاضی و آماری دیگری استفاده می شد. تبدیل قیچک که نوع خاص و نسبتاً جدیدی می باشد می تواند برای نهان نگاری در تصاویر دیجیتال نیز مورد استفاده قرار گیرد. این روش به دلیل ویژگی های خاص خود می تواند باعث افزایش اثر و بهره وری در کاربردهایی مانند نهان نگاری تصاویر مورد استفاده قرار گیرد. در این مقاله بر خلاف روش های قدیمی تر برای افزایش شفافیت و مقاومت تصویر نهان نگاری شده، نهان-نگاره در زیر باند فرکانس پایین تصویر میزبان جاسازی شده است و از تبدیل SVD به همراه الگوریتم بهینه سازی PSO برای به دست آوردن بهترین فاکتور مقیاس آلفا در مرحله استخراج نهان نگاره پس از اعمال انواع حملات مختلف پردازش تصویری استفاده شده است. همچنین روش مورد مطالعه بر روی تصاویر میزبان و تصاویر نهان نگاره رنگی اجرا شده است. نتایج آزمایشات مختلف نشان دهنده این می باشد که روش جدید ارائه شده در این مقاله نسبت به روش های نهان نگاری سنتی در حوزه تبدیلات موجک سنتی از لحاظ مقاومت و به ویژه شفافیت دارای نتایج بهتری بوده و همچنین نسبت به روش تبدیل قیچک سنتی نیز دارای میزان شفافیت بیشتری در مورد اکثر حملات پردازش تصویری می باشد.

واژه های کلیدی: تبدیل قیچک، بهینه سازی ازدحام ذرات، تجزیه مقادیر منفرد، نهان نگاری

۱- مقدمه

تصویر و یا محتوای آن را پاسخ بگوید. در دو دهه اخیر روش ها و مفاهیم جدید بسیاری در زمینه پنهان سازی اطلاعات یا نهان-نگاری معرفی شده و به عنوان ابزاری جهت تشخیص تغییرات در تصاویر دیجیتال و نیز احراز اصالت تصویر مورد استفاده قرار گرفته اند [۱].

نهان نگاری برای پنهان کردن یا اضافه کردن داده یا فایلی در فایل دیگر، به طوری که فقط افراد آگاه با ابزار لازم بتوانند به آن دست یابند و همچنین یکی از راه های حفاظت از داده های چند رسانه ای در برابر کپی برداری های غیرقانونی و توزیع غیرقانونی آن ها است. در این روش یک سیگنال ثانویه یا الگو به تصویر، ویدئو و یا داده های صوتی جاسازی می شود که قابل کشف نیست و به صورت یک عضو جدایی ناپذیر به خوبی با داده های دیجیتال اصلی منطبق می باشد و در مقابل هر نوع پردازش سیگنال چند رسانه ای بدون هیچ مشکلی باقی می ماند [۲]. این اطلاعات ثانویه تعبیه شده، علامت نهان نگاری دیجیتال است.

در جهان امروزی محصولات دیجیتال به تدریج در حال جایگزینی محصولات آنالوگ قدیمی می باشند. علت اصلی جلب توجه به سمت این محصولات دیجیتال، سهولت ویرایش، اعمال اصلاحات و تغییرات، ذخیره سازی، انتقال و نیز استفاده از آن ها می باشد. تصاویر و فیلم های دیجیتال را می توان به سهولت از طریق شبکه های کامپیوتری مثل اینترنت به اشتراک گذاشت. همچنین کیفیت ابزار دیجیتال ذخیره سازی با گذر زمان افت نمی نماید. اما از طرف دیگر این تسهیلات منجر به مسائل جدی به دلیل سهولت استفاده غیرمجاز، نسخه برداری و دستکاری این محصولات دیجیتال شده است. به همین دلیل استفاده از ابزاری به منظور احراز اصالت و تمامیت این محصولات، ضروری به نظر می رسد. این ابزار قادر است تردیدهای موجود در مورد منشا یک

* رایانامه نویسنده پاسخگو: jvahidi@iust.ac.ir

کاهش ویژگی استحکام یا ظرفیت و یا کاهش هردو این ویژگی‌ها با هم به دست آید [۷].

۲-۳- ظرفیت^۲

ویژگی ظرفیت به تعداد بیت‌هایی اشاره دارد که می‌تواند بدون تاثیر در کیفیت در تصویر اصلی جاسازی شود. این فاکتور در واقع به صورت مقدار بیت‌هایی که به عنوان نهان‌نگاره می‌توان در تصویر اصلی جاسازی نمود تا در فرایند استخراج نهان‌نگاره بتواند کارآمد باشد تعریف می‌شود [۸].

۳- دسته‌بندی روش‌های نهان‌نگاری دیجیتال

تکنیک‌های جاسازی نهان‌نگاره کنونی را می‌توان به دو گروه اصلی تقسیم نمود. در زیر به شرح خلاصه‌ای از ویژگی‌های این گروه‌ها پرداخته‌ایم.

۳-۱- تکنیک‌های حوزه فضایی (مکان)

در این روش نهان‌نگاره به وسیله تغییر مقادیر پیکسل‌های تصویر اصلی، به صورت مستقیم به تصویر اصلی اضافه می‌شود. این الگوریتم‌ها ساده، سریع و دارای ظرفیت جاسازی بالایی هستند [۹]. این تکنیک‌ها در مقابل تغییرات بسیار حساس هستند و این امر موجب آسیب‌دیده شدن نهان‌نگاره می‌شود. همچنین اگر پیکسل‌های بیشتری جهت جاسازی نهان‌نگاره استفاده شود در آن صورت نهان‌نگاره قابل رویت است [۱۰، ۱۱]. همچنین یک نهان‌نگاره کوچک را می‌توان چندین بار در تصویر اصلی مخفی نمود. این مزیت به دلیل این‌که امکان حذف تمامی نهان‌نگاره‌های موجود در تصویر اصلی به شدت کاهش می‌یابد، به شدت قدرت بالای اضافه‌ای را در مقابل انواع حملات به تصویر نهان‌نگاری شده می‌دهد. تکنیک‌های حوزه فضایی ممکن است برخی از مزایا را داشته باشند اما اشکال آن‌ها این است که نمی‌توانند در برابر بسیاری از عملیات مانند اضافه شدن نویز و روش‌های فشرده‌سازی مقاومت کنند [۱۲]. از تکنیک‌های این دسته می‌توان به روش $Local\ Least\ Significant\ Bit\ (LSB)$ [۱۳]، $Binary\ Pattern\ (LBP)$ [۱۴] و اصلاح هیستوگرام [۱۵] اشاره نمود.

۳-۲- تکنیک‌های حوزه انتقال (فرکانس)

در مقایسه با روش‌های حوزه مکان، روش‌های حوزه فرکانس به طور گسترده‌تری پیاده‌سازی شده‌اند. هدف مورد نظر در این

علامت نهان‌نگاری دیجیتالی به طور کلی، یک کد شناسایی مرئی یا نامرئی می‌باشد که ممکن است برخی اطلاعات مربوط به گیرنده قانونی و یا نویسنده داده‌های اصلی و قوانین کپی رایت به شکل داده‌های متنی و یا تصویری در آن ذخیره شده باشد. این علامت نهان‌نگاری دیجیتال را می‌توان شناسایی و یا استخراج نمود و بعداً به عنوان یک ادعا در مورد مالکیت حقیقی داده‌ها از آن استفاده کرد. فقدان یک علامت نهان‌نگاری در تصویری که قبلاً نهان‌نگاری شده بود به این معنی است که محتوای داده دیجیتالی دچار تغییر شده است. نهان‌نگاری دیجیتالی که تحت عملیات انتقال و تبدیل دست نخورده باقی می‌ماند، ما را در حفاظت از حقوق مالکیت اثر دیجیتالی کمک می‌کند [۳].

قسمت‌های تشکیل‌دهنده مقاله بدین صورت است که در بخش ۲، الزامات نهان‌نگاری دیجیتال بیان شده است. در بخش ۳، انواع روش‌های نهان‌نگاری مورد استفاده و دسته‌بندی آن آورده شده است. بخش ۴، به تعریف ساختار تبدیل قیچک پرداخته است. بخش ۵، در مورد تبدیل SVD می‌باشد و به توضیح آن پرداخته است. بخش ۶ نیز آشنایی با الگوریتم بهینه‌سازی ذرات می‌باشد. در بخش ۷ به معرفی روش پیشنهادی ارائه شده در این مقاله پرداخته شده است. در بخش ۸، پیاده‌سازی و نتایج آزمایشات صورت گرفته بیان شده است. بخش ۹ به معرفی معیارهای ارزیابی روش‌های نهان‌نگاری پرداخته است. در بخش ۱۰، پارامترهای مورد استفاده در روش پیشنهادی بیان شده است. در بخش ۱۱ نتایج شبیه‌سازی‌ها و آزمایشات صورت گرفته نمایش داده شده است. در انتها و بخش ۱۲ نیز نتایج مقاله ذکر شده است.

۲- الزامات نهان‌نگاری دیجیتال

ملزومات اصلی طراحی یک سامانه نهان‌نگاری دیجیتال را می‌توان بر اساس رویکردهای زیر بیان کرد [۴]:

۲-۱- استحکام

ویژگی استحکام به معنی توانایی مقاومت رویکرد نهان‌نگاری در مقابل حملات پردازش تصویر مختلف می‌باشد. هدف این حملات از بین بردن نهان‌نگاره در تصویر می‌باشد که می‌توان طبقه‌بندی وسیعی را برای انواع حملات موجود در نظر گرفت [۵].

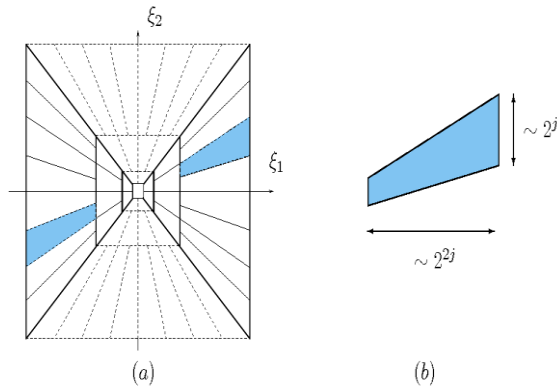
۲-۲- شفافیت (مشاهده پذیری)^۱

این ویژگی بیان می‌کند که تصویر اصلی و تصویر نهان‌نگاری شده باید به صورت ادراکی مشابه یکدیگر باشند [۶] و ممکن است با

^۲ Data Payload (Capacity)

^۱ Imperceptibility

می‌باشد. همچنین روش قیچک به تحلیل چند مقیاسی مرتبط می‌باشد [۱۸]. شکل (۱) نمایش فضای فرکانسی تبدیل قیچک را نمایش می‌دهد.



شکل (۱): نمایش فضای فرکانسی تبدیل قیچک

قیچک دوبعدی پیوسته (قیچک مادر) در فضای $\psi \in L^2(R^2)$ به فرم معادله (۱) تعریف می‌شود:

$$\begin{aligned} \psi_{a,s,t}(x) &= a^{-3/4} \psi(A_a^{-1} S_s^{-1}(x-t)) \\ &= a^{-3/4} \psi \left(\begin{pmatrix} 1 & -s \\ a & a \\ 0 & 1/\sqrt{a} \end{pmatrix} (x-t) \right), a > R^+, s \in R, t \in R^2 \end{aligned} \quad (1)$$

ψ تابع مولد نامیده می‌شود. A و S ماتریس‌های معکوس پذیر ۲ در ۲ می‌باشند و A معادل ماتریس مقیاس (اتساع) و S نیز معادل ماتریس قیچی می‌باشد [۱۹] به طوری که:

$$A_a = \begin{bmatrix} a & 0 \\ 0 & a^{1/2} \end{bmatrix}, S_s = \begin{bmatrix} 1 & s \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

با تبدیل فوری گرفتن از معادله (۳) می‌توانیم به رابطه تبدیل قیچک پیوسته نیز دست پیدا کنیم:

$$SH_{\psi}(f) = \langle f, \psi_{a,s,t} \rangle \quad (3)$$

تصویر دیجیتال را به عنوان توابع نمونه‌گیری شده روی شبکه:

$$\begin{aligned} &\text{با } \left\{ \left(\frac{m_1}{M}, \frac{m_2}{N} \right) : (m_1, m_2) \in I \right\} \\ &I = \{(m_1, m_2) : m_1 = 0, \dots, M-1, m_2 = 0, \dots, N-1\} \end{aligned}$$

در نظر می‌گیریم. با گسسته‌سازی پارامترهای a و s و t به قیچک

$$j = \left\lfloor \frac{1}{2} \log_2 N \right\rfloor \text{ فرض کنیم.}$$

حوزه، جاگذاری نشانه‌ها در ضرایب تبدیل تصویر است. ابتدا به کمک یک تبدیل برگشت‌پذیر، تصویر میزبان از حوزه مکان به حوزه فرکانس منتقل می‌شود و پس از جاگذاری نشانه به کمک یک الگوریتم جاسازی مناسب، مجدداً تصویر نهان‌نگاری شده به کمک معکوس تبدیل استفاده شده، به حوزه مکان بازگردانده می‌شود. مسئله مهم در این حوزه، انتخاب بهترین محل برای جاگذاری نهان‌نگاره به منظور جلوگیری از اعوجاج تصویر نهان‌نگاری شده است. حوزه فرکانس در مقابل تغییرات و حملات مقاوم است و می‌توان نهان‌نگاره را به صورت غیرقابل رویت در تصویر جاسازی نمود [۱۰، ۱۱]. از تکنیک‌های این روش می‌توان به روش Discrete Cosine Transform (DCT) [۸]، Discrete Fourier Transform (DFT) [۱۶]، Discrete Wavelet Transform (DWT) [۱۷] اشاره کرد. تبدیل موجک تنها می‌تواند گسستگی‌های نقطه‌ای را تشخیص دهد بنابراین، آنالیزهای چندمقیاسی دیگری مانند تیغک، پیچک، مرزک و قیچک مطرح شدند که توانایی تشخیص خط و منحنی را دارند. این تبدیلات از خانواده تبدیلات چندمقیاسه جهت‌دار انتخابی می‌باشند و به عنوان پاسخی برای ضعف‌های تبدیل موجک در نمایش خطوط، منحنی‌ها و لبه‌های تصاویر ارائه شدند که در کاربردهای نهان‌نگاری بسیار بهتر از موجک‌های سنتی عمل می‌کنند [۱۸].

۴- تبدیل قیچک

یکی از ویژگی‌های مفید موجک‌ها، توانایی آن‌ها در تخمین موثر سیگنال‌هایی است که شامل نقاط تکین می‌باشند. با این حال موجک‌ها به دلیل داشتن پایه‌های یک‌بروند، قادر به ضبط ساختارهای هندسی منظم در امتداد نقاط تکین سطوح نمی‌باشند. به منظور بهره‌برداری از نظم نایک‌روند موجود در سطوح در امتداد لبه‌ها، پایه‌ها باید شامل توابع کشیده‌ای (دراز) تقریباً موازی با لبه‌ها باشند. تاکنون چندین روش برای ضبط نظم هندسی تصاویر ارائه شد. آن روش‌ها شامل تبدیلات تیغک، پیچک و مرزک بودند. به خصوص در ساختار پیچک که به صورت مستقیم برای حوزه گسسته ساخته نشده است. مرزک‌ها دارای پایه‌های ساخته شده‌ای به وسیله ترکیبی از فیلتربانک‌های جهت‌ی چندمقیاسه می‌باشند [۱۸].

اخیراً رویکرد نمایش جدیدی به وسیله Labate و همکارانش در سال ۲۰۰۵ [۱۹] ارائه شد که قیچک نام دارد و تقریبی نزدیک به بهینه را به دست می‌آورد [۲۰]. در سال‌های اخیر نمایش قیچک به عنوان یکی از روش‌های موجک چندجهته معرفی شده است که ویژگی‌های تقریب بهینه‌ای را فراهم می‌کند. این نمایش جدید مبتنی بر چارچوب ریاضیاتی محکم و ساده‌ای است که نه تنها ابزاری منعطف نظری برای نمایش هندسی داده‌های چندبعدی فراهم می‌کند، بلکه برای پیاده‌سازی نیز طبیعی‌تر

پیچیده عددی، از SVD به عنوان یک ابزار محاسباتی استفاده نمی‌شد. در سال‌های بعد، گننه گولوب آن را به عنوان یک ابزار سودمند و اجراپذیر در موارد کاربردی گوناگون معرفی نمود [۲]. SVD یکی از مفیدترین ابزارهای جبر خطی برای کاربردهای مختلف مانند فشرده‌سازی تصویر و سایر زمینه‌های پردازش تصویر و سیگنال می‌باشد. به طور کلی طرح‌های نهان‌نگاری مبتنی بر تجزیه مقدار منفرد با توجه به سادگی در پیاده‌سازی و برخی ویژگی‌های جذاب ریاضی، محبوبیت زیادی را به دست آورده‌اند. در تبدیل SVD، یک ماتریس را می‌توان به سه ماتریس که هم اندازه با ماتریس اصلی هستند تجزیه نمود. از نظر جبر خطی، تصویر آرایه‌ای از مولفه‌های عددی غیر منفی است که می‌توان آن را به عنوان ماتریس در نظر گرفت. اگر A یک تصویر با ابعاد مربعی باشد، ماتریس متناظر با آن را به صورت $A \in R^{n \times n}$ نشان می‌دهند که در آن R نشان‌دهنده دامنه اعداد حقیقی است، بنابراین، SVD ماتریس A به صورت معادله (۶) می‌شود [۲۲]:

$$A = USV^T = \begin{bmatrix} u_{1,1} & u_{1,2} & \dots & u_{1,N} \\ u_{2,1} & u_{2,2} & \dots & u_{2,N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ u_{N,1} & u_{N,2} & \dots & u_{N,N} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \lambda_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \lambda_N \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} v_{1,1} & v_{1,2} & \dots & v_{1,N} \\ v_{2,1} & v_{2,2} & \dots & v_{2,N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{N,1} & v_{N,2} & \dots & v_{N,N} \end{bmatrix}^T \quad (6)$$

که در آن، $U \in R^{n \times n}$ می‌باشد و هر ستون آن را بردارهای ویژه ماتریس AA^T تشکیل می‌دهد و این بردارهای ویژه را بردار ویژه‌های چپ می‌گویند، و همچنین $V \in R^{n \times n}$ نشان‌دهنده ماتریسی است که هر ستون آن را بردارهای ویژه ماتریس $A^T A$ تشکیل می‌دهد. این بردارهای ویژه را بردارهای ویژه راست می‌نامند و V^T نشان‌دهنده ترانزپوز دوج V است که یک ماتریس یکانی n در n می‌باشد. $S \in R^{n \times n}$ یک ماتریس قطری با درایه‌های نامنفی حقیقی بر روی قطر اصلی می‌باشد و هر درایه آن مقدار منفرد یا مقدار تکین ماتریس A را به صورت غیر نزولی در خود جای داده است. بنابراین، تمامی درایه‌های غیر قطر اصلی آن صفر است:

$$S = \begin{bmatrix} \lambda_1 & & & \\ & \lambda_2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & \lambda_N \end{bmatrix}$$

عناصر مورب یعنی λ_i ها، ارزش‌های منفرد (تکین) می‌باشند و به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_r \geq \lambda_{r+1} = \dots = \lambda_N = 0$$

تعداد مقیاس‌های در نظر گرفته شده باشد. می‌خواهیم یک تبدیل قیچک گسسته به دست بیاوریم. پارامترهای مقیاس، قیچی و انتقال را به صورت زیر گسسته‌سازی می‌کنیم:

$$a_j = 2^{-2j} = \frac{1}{4^j} \quad j = 0, \dots, j_0 - 1$$

$$s_{j,k} = k 2^{-j} \quad 2^{-j} \leq k \leq 2^j$$

$$t_m = \left(\frac{m_1}{M}, \frac{m_2}{N} \right) \quad m \in I$$

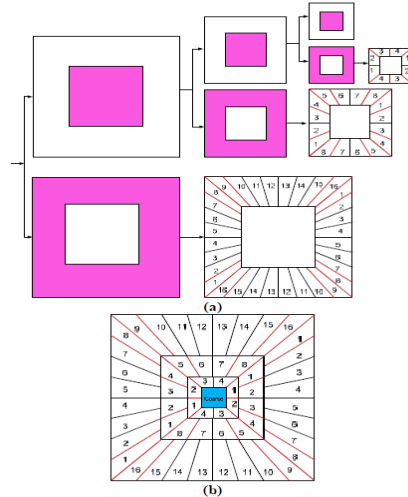
با این نمادها قیچک‌های گسسته به صورت معادله (۴) تعریف می‌شوند:

$$\psi_{j,k,m}(x) = \psi(A_{a_j}^{-1} S_{s_{j,k}}^{-1}(x - t_m)) \quad (4)$$

تبدیل قیچک گسسته را به صورت معادله (۵) تعریف می‌نماییم:

$$SH_{\psi}(f) = \langle f, \psi_{j,k,m}(x) \rangle \quad (5)$$

روش مرحله به مرحله ایجاد دامنه فرکانسی به وسیله تبدیل قیچک گسسته در سطوح مختلف i را می‌توانیم به صورت دقیق تری در هرم فرکانسی شکل (۲) مشاهده نماییم [۲۱].



شکل (۲): هرم دامنه فرکانسی ایجاد شده به وسیله تبدیل قیچک گسسته در سطوح مختلف i

۵- تجزیه مقدار منفرد

در سال‌های اخیر، روش جدید نهان‌نگاری در حوزه تبدیل به نام تجزیه مقدار منفرد مورد مطالعه قرار گرفت. روش تجزیه مقدارهای منفرد یا تجزیه مقدارهای تکین، توسط بلترامی در سال ۱۸۷۳ و جردن در سال ۱۸۷۴ به طور مستقل کشف شد و توسط ایگرت و یانگ در سال ۱۹۳۰ برای ماتریس‌های مستطیل شکل توسعه یافت. تا سال ۱۹۶۰ به دلیل نیاز به تکنیک‌های

بالایی که دارد، مورد استفاده قرار می‌گیرد. این الگوریتم با وجود عمر کمی که دارد، اما توانسته است در حوزه‌های کاربردی بسیاری، از الگوریتم‌های قدیمی‌تر، مانند الگوریتم ژنتیک، پیشی بگیرد و به‌عنوان انتخاب اول محسوب شود.

PSO یکی از روش‌های بهینه‌سازی الهام گرفته از طبیعت است که برای حل مسائل بهینه‌سازی عددی با فضای جستجوی بسیار بزرگ بدون نیاز به اطلاع از گرادینان تابع هدف ابداع شده است. این روش که اولین بار در سال ۱۹۹۵ توسط دو نفر به نام‌های کندی و ابرهات ابداع شد [۲۴]. در این الگوریتم که با الهام‌گیری از زندگی گروهی جانوران، از جمله حشرات (نظیر مورچه‌ها، زنبورها و ...)، پرندگان و ماهی‌ها ابداع شده است، برای حل یک مساله بهینه‌سازی جمعیتی از جواب‌های کاندید با استفاده از یک فرمول ساده به‌طور تصادفی در دامنه مساله به حرکت در می‌آیند و آن را با هدف یافتن جواب بهینه سراسری مورد کاوش قرار می‌دهند.

اساس کار الگوریتم PSO را می‌توان چنین توضیح داد:

ابتدا در فضای جستجوی مورد نظر تعدادی نقطه به‌عنوان جمعیت اولیه انتخاب می‌شود. نقاط بر اساس فاصله اقلیدسی در دسته‌های مختلف قرار می‌گیرند.

به‌عنوان مثال دسته ۱ شامل سه عامل جستجوکننده است. مقدار تابع به‌ازاء هر یک از عوامل موجود در فضای جستجوی محاسبه شده و در هر دسته مشخص می‌گردد که کدام نقطه مقدار تابع را بسته به هدف مورد نظر کمینه یا بیشینه کرده است.

بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که ماهیت رفتار هدفمند ذرات در روش PSO بر اساس دو اصل استوار است که این دو اصل عبارت‌اند از:

- ۱) دانش فردی: بر این اساس هر فرد به سمت بهترین دانش قبلی خود حرکت می‌کند که دانش جدیدی به‌دست آورد.
- ۲) دانش اجتماعی: بر این اساس فرد بر حسب نوع ارتباط خودش با جامعه از بهترین اطلاعات دیگران برای ادامه حرکت استفاده می‌کند.

۷- روش پیشنهادی نهان‌نگاری در حوزه قیچک

در این مقاله، یک روش نهان‌نگاری غیرقابل مشاهده و مبتنی بر تکنیک SVD و الگوریتم PSO در حوزه تبدیل قیچک نوع زیرنمونه‌برداری نشده (nonsubsample) پیشنهاد می‌گردد. در الگوریتم پیشنهادی، تصویر میزبان I و تصویر نهان‌نگاری W و تصویر نهان‌نگاری شده Iw نامیده شده است و در هنگام قرار دادن

SVD یک روش مطلوب برای تجزیه ماتریس‌ها در مفاهیم حداقل مربعات است که در آن حداکثر انرژی سیگنال به‌صورت چند ضریب ممکن بسته‌بندی می‌شود، همچنین SVD توانایی آن را دارد که با تغییرات در پارامترهای محلی آماری تصویر منطبق شود [۲۳].

۵-۱- خواص SVD در پردازش تصاویر دیجیتال

SVD ویژگی‌های بسیار خوبی از ریاضیات را داراست. استفاده از SVD در پردازش تصاویر دیجیتال مزایای بسیاری دارد که در زیر به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود [۲۲]:

۱. اندازه ماتریس‌های تبدیل SVD ثابت نیست و می‌تواند مربعی یا مستطیلی باشد.
۲. بیشترین انرژی تصویر به‌وسیله بزرگترین ضرایب ارزش‌های منفرد تصویر به‌دست می‌آید.
۳. ارزش‌های منفرد تصویر ثابت بسیار خوبی دارند، یعنی زمانی که تخریب کوچکی به تصویر اضافه شود، مقادیر منفرد آن به سرعت تغییر نمی‌کند بنابراین، در مقابل حملات مختلف دارای مقاومت بالایی می‌باشد.
۴. شفافیت تصویر حتی پس از جاسازی نهان‌نگاره در مقاویر منفرد تصویر، ثابت باقی می‌ماند.
۵. ارزش‌های منفرد تصویر برخی خواص جبری آن را نشان می‌دهند که این خصوصیت‌ها ذاتاً قابل مشاهده نیست.

با توجه به ویژگی‌های SVD، در سال‌های اخیر طیف وسیعی از الگوریتم‌های نهان‌نگاری مبتنی بر SVD پیشنهاد شده است. برخی از الگوریتم‌های نهان‌نگاری مبتنی بر SVD صرفاً با SVD کار می‌کنند، به این مفهوم که فقط از دامنه SVD برای جاسازی علامت نهان‌نگاری در تصویر اصلی استفاده می‌کنند. در حالی که اخیراً محققین الگوریتم‌های ترکیبی که شامل تلفیقی از SVD و سایر روش‌های دامنه تبدیل می‌باشد، استفاده می‌کنند. در این روش‌های ترکیبی، الگوریتم مبتنی بر SVD به همراه انواع مختلف دامنه تبدیل از جمله تبدیل کسینوس گسسته، تبدیل موجک گسسته و غیره به‌منظور جاسازی علامت نهان‌نگاری در تصویر پوشش استفاده شده است.

۶- الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات^۱

الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات، که به نام الگوریتم پرندگان نیز شناخته می‌شود، یکی از الگوریتم‌های قدرتمند و پر طرفدار برای بهینه‌سازی است که بیشتر به خاطر سرعت همگرایی نسبتاً

^۱ Particle swarm optimization (PSO)

۷-۲- الگوریتم استخراج نهان نگاره

الگوریتم استخراج تصویر نهان نگاره از تصویر به شرح زیر می‌باشد:

۱- تصویر نهان‌نگاری شده I_w را به سه ماتریس $I_w R, I_w G, I_w B$ تقسیم می‌کنیم.

۲- در ماتریس $i=R,G,B$; $I_w i$ ، تبدیل قیچک را اجرا می‌کنیم و آن را به یک زیرباند فرکانس پایین و تعدادی زیرباند فرکانس بالا تقسیم می‌کنیم.

۳- در زیرباند فرکانس پایین به دست آمده از تصویر در مرحله ۲، تبدیل SVD را اجرا می‌کنیم.

۴- ماتریس به دست آمده در مرحله جاسازی نهان‌نگاره (کلید جهت بازیابی تصویر نهان‌نگاره) را فراخوانی می‌نماییم.

۵- معکوس SVD را بر روی مقادیر منفرد U و V به دست آمده در مرحله ۳ و مقدار منفرد S کلید عملیات نهان‌نگاری اجرا می‌کنیم.

۶- معکوس تبدیل قیچک را بر روی ماتریس زیرباند فرکانس پایین به دست آمده از عملیات معکوس SVD در مرحله ۵ و زیرباند فرکانس پایین و مابقی فرکانس بالاها در مرحله ۲ اجرا می‌کنیم و تصویر نهان‌نگاری شده $i=R,G,B$; $I_w i$ را به دست می‌آوریم.

۷- سه ماتریس $I_w R, I_w G, I_w B$ را ادغام می‌کنیم تا تصویر میزبان استخراج شده ایجاد گردد.

۸- معکوس SVD را بر روی مقادیر منفرد U و V کلید عملیات نهان‌نگاری و مقدار منفرد S حاصل از عملیات SVD در مرحله ۳ اجرا می‌کنیم.

۹- ماتریس به دست آمده از عملیات معکوس SVD به دست آمده در مرحله ۸ را از مقدار منفرد S به دست آمده از عملیات SVD مرحله ۳ کم کرده سپس بر مقیاس فاکتور T (که بهینه‌ترین مقدار آن از طریق الگوریتم PSO به دست می‌آید) تقسیم می‌کنیم.

۱۰- سه ماتریس $I_w R, I_w G, I_w B$ را ادغام می‌کنیم تا تصویر نهان‌نگاره استخراج شده ایجاد گردد.

تصویر نهان‌نگاره داخل تصویر میزبان، تصویر نهان‌نگاره تغییر اندازه داده و هم‌اندازه با زیرباند فرکانس پایین تصویر میزبان می‌گردد. همچنین در این روش تصویر نهان‌نگاره و تصویر میزبان رنگی (RGB) می‌باشد. در انتها روش پیشنهادی با روش مذکور در [۲۵] که از تبدیل قیچک به همراه تبدیل SVD استفاده کرده است مقایسه می‌شود.

۷-۱- الگوریتم جاسازی نهان نگاره

الگوریتم جاسازی کردن تصویر نهان‌نگاری در تصویر میزبان به شرح زیر می‌باشد:

۱- تصویر میزبان I را به سه ماتریس $I_w R, I_w G, I_w B$ تقسیم می‌کنیم.

۲- در ماتریس $i=R,G,B$; $I_w i$ ، تبدیل قیچک را اجرا می‌کنیم و آن را به یک زیرباند فرکانس پایین و تعدادی زیرباند فرکانس بالا تقسیم می‌کنیم.

۳- در زیرباند فرکانس پایین به دست آمده از تصویر در مرحله ۲، تبدیل SVD را اجرا می‌کنیم.

۴- ابعاد تصویر نهان‌نگاره W را به ابعاد زیرباند تصویر میزبان تغییر می‌دهیم.

۵- تصویر نهان‌نگاره W را به سه ماتریس $W R, W G, W B$ تبدیل می‌کنیم.

۶- تصویر نهان‌نگاره را در فاکتور مقیاس T ضرب کرده، با ماتریس مقادیر منفرد (S) مجموعه زیرباند فرکانس پایین تصویر میزبان جمع می‌کنیم.

۷- معکوس SVD را به وسیله مقادیر منفرد U و V مرحله ۳ و مقدار منفرد S مرحله ۶ به دست می‌آوریم.

۸- معکوس تبدیل قیچک را بر روی ماتریس زیرباند فرکانس پایین جدید به دست آمده در مرحله ۷ و زیرباندهای فرکانس بالای مرحله ۲ اجرا می‌کنیم و تصویر نهان‌نگاری شده؛ $i=R,G,B$; $I_w i$ را به دست می‌آوریم.

۹- سه ماتریس $I_w R, I_w G, I_w B$ را ادغام می‌کنیم و تصویر نهان‌نگاری شده I_w را ایجاد می‌کنیم.

۱۰- ماتریس حاصل از مقادیر منفرد S به دست آمده در مرحله ۶ (کلید جهت بازیابی تصویر نهان‌نگاره) را ذخیره می‌نماییم.

۸- پیاده‌سازی و ارزیابی نتایج

تمامی پیاده‌سازی‌ها و نتایج تجربی به‌وسیله نرم‌افزار متلب ۲۰۱۵ به‌دست آمده است. در تمامی آزمایش‌ها از تصاویر میزبان و نهان‌نگاره یکسانی استفاده شده است. از چهار تصویر رنگی با ویژگی‌های بافتی متمایز به نام‌های Baboon, Lena, Airplane و Peppers به‌عنوان تصاویر میزبان استفاده شده است که در اکثر مقالات نهان‌نگاری مورد استفاده قرار می‌گیرند. تصاویر مورد استفاده از پایگاه داده USC-SIPI دریافت شده‌اند و تصاویر استاندارد برای استفاده در عملیات مختلف پردازش تصویری می‌باشند. شکل (۳ و ۴) به ترتیب تصاویر میزبان و تصویر نهان‌نگاره مورد استفاده در آزمایشات را نشان می‌دهد.



شکل (۳): تصاویر میزبان مورد استفاده

اندازه تصاویر میزبان ۱۲۸ در ۱۲۸ می‌باشد. تصویر نهان‌نگاره مورد استفاده نیز تصویر رنگی Peugeot به اندازه ۳۲ در ۳۲ می‌باشد.



شکل (۴): تصویر نهان‌نگاره مورد استفاده

با توجه به اصطلاحات مخصوص در نهان‌نگاری، حمله را می‌توان چنین تعریف کرد: هر پردازشی که ممکن است باعث ایجاد تخریب در تشخیص علامت نهان‌نگاری و یا تخریب در اطلاعات ارتباطی ارائه‌شده توسط علامت نهان‌نگاری شود را حمله می‌گویند. بعد از اعمال حمله، داده نهان‌نگاری شده را داده مورد حمله می‌نامند. یک مسئله مهم برای نهان‌نگاری شفافیت و استحکام در برابر حملات است. یک حمله ممکن است در شکست یک طرح نهان‌نگاری موفق شود اگر آن را فراتر از

محدوده قابل تحمل نهان‌نگاری تحریف کند [۲۶]. کلاس گسترده‌ای از حملات موجود را می‌توان به چهار گروه اصلی تقسیم نمود: حملات حذف، حملات هندسی، حملات رمزنگاری و حملات پروتکل [۲۷]. حملات حذف قصد حذف کامل نهان‌نگاره را از روی تصویر میزبان دارند که از نمونه حملات حذف می‌توان به حملات فشرده‌سازی و برخی اعمال پردازش تصویر از جمله فیلترها اشاره کرد. حملات هندسی قصد ایجاد اعوجاج و خرابی در تصویر نهان‌نگاره را دارند. از نمونه حملات هندسی می‌توان به حملاتی مانند انتقال‌ها و دوران نام برد. حملات رمزنگاری با روش‌های امنیتی در تصاویر نهان‌نگاری شده قصد نفوذ داشته و سعی در یافتن راهی برای حذف تصویر نهان‌نگاره و یا اضافه کردن تصاویر نهان‌نگاره دلخواهی را دارند. حملات پروتکل سعی می‌کنند به مفهوم کاربرد نهان‌نگاری حمله کنند. حملات پروتکل در چارچوب نهان‌نگاره معکوس‌پذیر معرفی شده است. حملات نوع رمزنگاری و پروتکل کاربردهای خاصی مانند حفظ حق نشر مورد بررسی قرار می‌گیرند. در روش‌های عمومی که مختص یک کاربرد مشخص نیست، این نوع حملات ارزیابی نمی‌شوند.

هریک از تصاویر نهان‌نگاری شده به‌دست‌آمده از الگوریتم مورد استفاده جدید مورد حملات مختلف پردازش تصویری قرار گرفته‌اند و میزان شفافیت و مقاومت آن‌ها در مقابل این حملات مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. حملاتی که در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته‌اند به‌صورت روبه‌رو می‌باشد: فیلتر میانگین با اندازه پنجره‌های مختلف، فیلتر پایین‌گذر گاوسی با اندازه پنجره‌های مختلف، فیلتر میانه با اندازه پنجره‌های مختلف، نویز گاوسی با میانگین و واریانس به شکل زوج مرتب، نویز نقطه‌ای با واریانس‌های مختلف، نویز نمک و فلفل، محو کردن، بلور حرکتی پارامترهای طول و زاویه مختلف، تیز کردن با پارامترهای آلفای مختلف، فشرده‌سازی JPEG، برش دادن، دوران، انتقال در راستای محور x و y و برگرداندن افقی و عمودی. در انتها روش پیشنهادی با روش مذکور در [۲۵] که از تبدیل فیچک به همراه تبدیل SVD استفاده کرده است مقایسه می‌شود.

۹- معیارهای ارزیابی الگوریتم‌های نهان‌نگاری

در رویکرد نهان‌نگاری دیجیتال، لازم است کیفیت تصویر اصلی پس از عملیات نهان‌نگاری نیز حفظ شود. بنابراین، برای ارزیابی تصویر نهان‌نگاری‌شده و خود نهان‌نگاره دو نوع معیار مورد نیاز است. اولین معیار میزان کیفیت تصویر را اندازه‌گیری می‌کند و معیار دوم نیز میزان صحت نهان‌نگاره استخراج‌شده را ارزیابی می‌کند.

تصویر مقایسه شده با هم می‌باشد که در معادله (۹) مشاهده می‌کنید [۲۸]:

$$SSIM(I, I_w) = \frac{(2\mu_I \mu_{I_w})(2cov + c_2)}{(\mu_I^2 + \mu_{I_w}^2 + c_1)(\sigma_I^2 + \sigma_{I_w}^2 + c_2)}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} c_1 = (k_1 L)^2 \quad k_1 = 0.01 \\ c_2 = (k_2 L)^2 \quad k_2 = 0.03 \end{array} \right. \quad (9)$$

μ_I و μ_{I_w} به ترتیب میانگین تصاویر I و I_w می‌باشد. δ_I^2 و $\delta_{I_w}^2$ نیز به ترتیب واریانس تصاویر I و I_w می‌باشند. متغیر Cov کواریانس تصویر I_w و I می‌باشند. C_1 و C_2 متغیرهایی برای تثبیت تقسیم با معادله ضعیف می‌باشند. L نیز دامنه پویا از مقادیر پیکسل‌ها است. ($L = 2^{(\text{number of bits pixels})} - 1$)

۹-۲- ارزیابی میزان استحکام نهان‌نگاره

استخراج شده

معیارهای زیر می‌تواند برای سنجش میزان قابلیت اطمینان و میزان قابل خواندن بودن نهان‌نگاره استخراج شده استفاده شود. در تمامی معادلات زیر W و W' به ترتیب نشان‌دهنده نهان‌نگاره جاسازی شده و نهان‌نگاره استخراج شده می‌باشد.

۹-۲-۱ ضریب همبستگی

ضریب همبستگی برای تجزیه و تحلیل میزان تناظر میان نهان‌نگاره اصلی و نهان‌نگاره استخراج شده استفاده می‌شود. مقدار CRC عددی در بازه صفر تا یک می‌باشد که به وسیله معادله (۱۰) محاسبه می‌شود [۳۰]:

$$CRC = \frac{\sum_i \sum_j W(i, j) W'(i, j)}{\sqrt{\sum_i \sum_j W(i, j)^2 * \sum_i \sum_j W'(i, j)^2}} \quad (10)$$

W' و W به ترتیب دنباله‌های نهان‌نگاره مرجع و نهان‌نگاره استخراج شده هستند.

۱۰- پارامترهای پیاده‌سازی

در روش پیشنهادی خودمان تبدیل قیچک را تا ۳ مرحله بر روی تصویر ورودی اعمال کرده‌ایم. مقدار فاکتور مقیاس اولیه برای عمل نهان‌نگاری برابر با ۰/۰۵ گرفته شده است که عددی است که به صورت تجربی به دست آمده است که دارای مقاومت و شفافیت خوبی است. تعداد تکرارهای الگوریتم PSO برابر با ۱۰۰ و تعداد ذرات مورد استفاده در الگوریتم برابر با ۶ می‌باشد.

۹-۱- ارزیابی میزان شفافیت تصویر نهان‌نگاری شده

چندین معیار برای تخمین میزان اعوجاج تصویر نهان‌نگاری شده استفاده می‌شود. PSNR و SSIM از محبوب‌ترین معیارهای مورد استفاده برای این منظور می‌باشند. این معیارها میزان حساسیت خطا را میان تصویر اصلی و تصویر نهان‌نگاری شده اندازه‌گیری می‌کند [۲۸]. در تمامی معادلات زیر ابعاد تصویر M در N بوده و I و I_w نیز به ترتیب تصویر اصلی و تصویر نهان‌نگاری شده را نشان می‌دهند.

۹-۱-۱- نسبت سیگنال اوج به نویز^۱

میانگین مربعات خطای (MSE) میان تصویر اصلی و تصویر نهان‌نگاری شده است که به وسیله معادله (۷) اندازه‌گیری می‌شود [۴]:

$$MSE(I, I_w) = \frac{1}{MN} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} (I(i, j) - I_w(i, j))^2 \quad (7)$$

PSNR معمولاً برای تخمین میزان کیفیت تصویر اصلی و تصویر نهان‌نگاری شده مورد استفاده قرار می‌گیرد. میزان PSNR بالا نشان‌دهنده این موضوع است که تصویر اصلی و تصویر نهان‌نگاری شده شباهت زیادی به هم دارند [۲۹]. این معیار به وسیله واحد دسیبل (db) و معادله (۸) بیان می‌شود:

$$PSNR(I, I_w) = 10 * \log_{10} \frac{MAX_I^2}{MSE} \quad (8)$$

MAX_I نشان‌دهنده سیگنال اوج در تصویر ورودی اصلی است که این میزان در تصاویر ۸ بیتی برابر با ۲۵۵ می‌باشد.

PSNR بزرگتر، کیفیت تصویر بالاتری را نشان می‌دهد، به عبارت دیگر تنها تفاوت کمی بین تصویر پوشش و تصویر نهان‌نگاری شده وجود دارد. از سویی دیگر، یک PSNR کوچکتر بدین معناست که اعوجاج بزرگی بین تصاویر پوشش و نهان‌نگاری شده وجود دارد.

۹-۱-۲- شاخص شباهت ساختاری^۲

SSIM با اندازه‌گیری آماری، میزان تغییرات میان دو تصویر را اندازه‌گیری می‌کند. SSIM را می‌توان به وسیله معادله (۱۲) اندازه‌گیری نمود و ارزش مقدار نهایی آن عددی در بازه $(-1, +1)$ می‌باشد که مقدار ۱ نشان‌دهنده یکسان بودن دو

^۱ Peak signal to noise ratio (PSNR)

^۲ Structural similarity index (SSIM)

نکرده است و ثابت مانده است که به دلیل این می‌باشد که هدف و چهارچوب روش پیشنهادی این مقاله فقط افزایش میزان شفافیت روش نهان‌نگاری پس اعمال حملات مختلف پردازش تصویری است و یا در بعضی حملات نوع تصادفی کاهش داشته است که به دلیل ماهیت تصادفی بودن این نوع حملات در آزمایش‌های مختلف امری طبیعی است و نوع حملات تصادفی پدیده‌ای قابل پیش‌بینی و ثابت نیست.

جدول (۳) نیز نتایج آزمایشات را بر روی تصویر نهان‌نگاری شده و تصویر نهان‌نگاره استخراجی نمایش می‌دهد.

همان‌طور که از نتایج آزمایشات مشاهده می‌شود در روش پیشنهادی این مقاله و در اکثر موارد پس از انجام حملات مختلف، به دلیل بهبود و افزایش میزان پارامتر شفافیت PSNR، میزان پارامتر شفافیت SSIM نیز افزایش داشته است. در مواردی که میزان پارامتر SSIM کاهش داشته است به دلیل ماهیت تصادفی بودن و نوع محاسبات آماری این پارامتر می‌باشد که به صورت طبیعی با توجه به نوع حملات مختلف از لحاظ تصادفی و یا آماری بودنشان مقادیر منحصر به فردی را بدون توجه به معیار PSNR به دست می‌آورد.

همچنین میزان پارامتر مقاومت CRC روش پیشنهادی نسبت به روش قدیمی پس از اعمال حملات پردازش تصویری یا تغییری

جدول (۱): مقایسه میزان شفافیت و مقاومت روش پیشنهادی با روش سنتی

نوع حمله	پارامتر ارزیابی	روش پیشنهادی			روش قدیمی		
		Airplane	Airplane	alpha	Lena	Lena	alpha
بدون حمله	PSNR	۲۷/۶۰۴۵	۲۷/۶۸	۰/۰۴۹۵۴۱	۲۷/۶۰۴۵	۲۷/۶۸	۰/۰۴۹۵۴۱
	SSIM	۰/۹۸۷۵	۰/۹۸۷۹		۰/۹۸۷۵	۰/۹۸۷۹	
	CRC	۰/۹۹۷۶	۰/۹۹۷۶		۰/۹۹۷۶	۰/۹۹۷۶	
فیلتر میانگین ۳*۳	PSNR	۲۴/۴۱۵۶	۲۴/۴۱۸۹	۰/۰۴۹۸۶	۲۵/۹۳۱۹	۲۵/۹۵۶۱	۰/۰۴۹۶۸۴
	SSIM	۰/۹۷۹۲	۰/۹۷۹۳		۰/۹۸۱۳	۰/۹۸۱۶	
	CRC	۰/۹۹۴۹	۰/۹۹۴۹		۰/۹۹۶۴	۰/۹۹۶۴	
فیلتر میانگین ۵*۵	PSNR	۲۰/۷۰۳۵	۲۰/۷۲۸۵	۰/۰۵۰۵۹۸	۲۳/۴۳۲۵	۲۳/۴۳۲۵	۰/۰۴۹۹۸۷
	SSIM	۰/۹۷۴۷	۰/۹۷۳۹		۰/۹۷۷۴	۰/۹۷۷۴	
	CRC	۰/۹۸۸۱	۰/۹۸۸۱		۰/۹۹۳۶	۰/۹۹۳۶	
فیلتر پایین‌گذر گاوسی ۳*۳	PSNR	۲۷/۲۲۶۱	۲۷/۲۸۳۹	۰/۰۴۹۵۸	۲۷/۴۴۳۳	۲۷/۴۹۳۸	۰/۰۴۹۵۵۹
	SSIM	۰/۹۸۵۵	۰/۹۸۵۹		۰/۹۸۶۳	۰/۹۸۶۹	
	CRC	۰/۹۹۷۴	۰/۹۹۷۴		۰/۹۹۷۵	۰/۹۹۷۵	
فیلتر پایین‌گذر گاوسی ۵*۵	PSNR	۲۷/۲۲۲۱	۲۷/۲۷۹۷	۰/۰۴۹۵۸۱	۲۷/۴۴۱۶	۲۷/۵۰۷۶	۰/۰۴۹۵۵۹
	SSIM	۰/۹۸۵۵	۰/۹۸۵۸		۰/۹۸۶۳	۰/۹۸۶۷	
	CRC	۰/۹۹۷۴	۰/۹۹۷۴		۰/۹۹۷۵	۰/۹۹۷۵	
فیلتر میانه ۳*۳	PSNR	۲۷/۲۷۳۳	۲۷/۳۴۱۲	۰/۰۴۹۵۴۸	۲۷/۴۹۰۷	۲۷/۵۶۳۸	۰/۰۴۹۵۴۲
	SSIM	۰/۹۸۵۶	۰/۹۸۶		۰/۹۸۶۸	۰/۹۸۷۲	
	CRC	۰/۹۹۷۴	۰/۹۹۷۴		۰/۹۹۷۵	۰/۹۹۷۵	
فیلتر میانه ۵*۵	PSNR	۲۶/۶۷۴۲	۲۶/۷۲۶۱	۰/۰۴۹۵۷۵	۲۷/۲۴۴۶	۲۷/۳۱۱۹	۰/۰۴۹۵۴۸
	SSIM	۰/۹۸۳۳	۰/۹۸۳۷		۰/۹۸۵۴	۰/۹۸۵۸	
	CRC	۰/۹۹۷	۰/۹۹۷		۰/۹۹۷۴	۰/۹۹۷۴	
برش دادن [۱۵۰، ۱۵۰]	PSNR	۲۱/۰۲۴۲	۲۱/۰۳۴	۰/۰۵۰۳۵۷	۱۷/۰۰۶۸	۱۷/۱۳۷۱	۰/۰۵۲۰۸۹
	SSIM	۰/۹۷۳۵	۰/۹۷۳۱		۰/۹۷۰۲	۰/۹۶۶۵	
	CRC	۰/۹۸۸۹	۰/۹۸۸۹		۰/۹۷۲۵	۰/۹۷۲۵	
دوران ۵	PSNR	۱۵/۶۶۸۵	۱۵/۹۰۹۴	۰/۰۵۳۳۲۳	۲۴/۲۵۳۵	۲۴/۲۵۶۲	۰/۰۴۹۸۷۳
	SSIM	۰/۹۷۰۱	۰/۹۶۳۱		۰/۹۷۹	۰/۹۷۹۲	
	CRC	۰/۹۶۳۴	۰/۹۶۳۴		۰/۹۹۴۷	۰/۹۹۴۷	
دوران ۳۰	PSNR	۱۳/۶۱۰۵	۱۴/۰۲۸۵	۰/۰۵۵۶۱۱	۱۸/۸۳۳۷	۱۸/۸۷۹۹	۰/۰۵۱۱۸۲
	SSIM	۰/۹۶۸۲	۰/۹۵۲۴		۰/۹۷۲۴	۰/۹۷۰۷	

	پارامتر ارزیابی	روش قدیمی		روش پیشنهادی		روش پیشنهادی	
		روش قدیمی	روش پیشنهادی	روش قدیمی	روش پیشنهادی	روش پیشنهادی	روش پیشنهادی
	CRC	۰/۹۴۳	۰/۹۴۳		۰/۹۸۱۸	۰/۹۸۱۸	
دوران ۴۵	PSNR	۱۶/۱۲۱۷	۱۶/۳۱۱۸	۰/۰۵۲۸۰۱	۱۶/۲۱۷	۱۶/۳۹۸۶	۰/۰۵۲۷۰۷
	SSIM	۰/۹۶۹۹	۰/۹۶۴۴		۰/۹۷	۰/۹۶۴۷	
	CRC	۰/۹۶۶۷	۰/۹۶۶۷		۰/۹۶۷۴	۰/۹۶۷۴	
دوران ۷۰	PSNR	۱۳/۲۴۸۹	۱۳/۷۱۱۲	۰/۰۵۶۱۶۵	۱۶/۷۹۹۶	۱۶/۹۵۴۴	۰/۰۵۲۳۳۱
	SSIM	۰/۹۶۷۸	۰/۹۶۹۴		۰/۹۷۰۹	۰/۹۶۶۷	
	CRC	۰/۹۳۸۵	۰/۹۳۸۵		۰/۹۷۱۳	۰/۹۷۱۳	
دوران ۱۱۰	PSNR	۱۰/۷۸۴۱	۱۱/۶۴۱۹	۰/۰۶۱۳۸۹	۲۰/۸۵۰۶	۲۰/۸۶۴۵	۰/۰۵۰۵۱
	SSIM	۰/۹۶۶۲	۰/۹۱۷۷		۰/۹۷۴۵	۰/۹۷۳۵	
	CRC	۰/۸۹۸۹	۰/۸۹۸۹		۰/۹۸۸۵	۰/۹۸۸۵	
انتقال (۱۰،۵)	PSNR	۵/۷۵۹۲	۸/۱۶۳۱	۰/۰۸۷۱۶۹	۹/۱۸۸۹	۱۰/۴۰۳۷	۰/۰۶۶۶۳۴
	SSIM	۰/۹۶۲۱	۰/۷۰۱۷		۰/۹۶۴۶	۰/۸۷۸	
	CRC	۰/۷۵۶۵	۰/۷۵۶۵		۰/۸۶۲۹	۰/۸۶۲۹	
انتقال (۱۰، ۱۰)	PSNR	۳/۳۱۱۲	۶/۹۴۸	۰/۱۱۵۳۴	۶/۵۰۲	۸/۵۸۷۱	۰/۰۸۱۲۴۹
	SSIM	۰/۹۶۰۵	۰/۴۹۹۳		۰/۹۶۲۶	۰/۷۵۲۳	
	CRC	۰/۶۵۸۹	۰/۶۵۸۹		۰/۷۸۲۳	۰/۷۸۲۳	
انتقال (۱۰، ۱۵)	PSNR	۱/۷۱۲۱	۶/۳۳۴۲	۰/۱۴۴۲۵	۴/۹۰۷۲	۷/۶۹۰۴	۰/۰۹۵۲۴۵
	SSIM	۰/۹۵۹۵	۰/۳۵۹		۰/۹۶۱۵	۰/۶۳۶۵	
	CRC	۰/۵۹۰۱	۰/۵۹۰۱		۰/۷۲۳۲	۰/۷۲۳۲	
برگردان افقی	PSNR	۲۷/۶۰۴۵	۲۷/۶۸	۰/۰۴۹۵۴۱	۲۷/۶۰۴۵	۲۷/۶۸	۰/۰۴۹۵۴۱
	SSIM	۰/۹۸۷۵	۰/۹۸۷۹		۰/۹۸۷۵	۰/۹۸۷۹	
	CRC	۰/۹۹۷۶	۰/۹۹۷۶		۰/۹۹۷۶	۰/۹۹۷۶	
برگردان عمودی	PSNR	۲۷/۶۰۴۵	۲۷/۶۸	۰/۰۴۹۵۴۱	۲۷/۶۰۴۵	۲۷/۶۷۹۵	۰/۰۴۹۵۴۱
	SSIM	۰/۹۸۷۵	۰/۹۸۷۹		۰/۹۸۷۵	۰/۹۸۷۹	
	CRC	۰/۹۹۷۶	۰/۹۹۷۶		۰/۹۹۷۶	۰/۹۹۷۶	
محو کردن ۰/۳	PSNR	۲۷/۶۰۸۵	۲۷/۶۸۴	۰/۰۴۹۵۴۱	۲۷/۶۰۶۶	۲۷/۶۸۲۱	۰/۰۴۹۵۴۱
	SSIM	۰/۹۸۷۵	۰/۹۸۷۹		۰/۹۸۷۵	۰/۹۸۷۹	
	CRC	۰/۹۹۷۶	۰/۹۹۷۶		۰/۹۹۷۶	۰/۹۹۷۶	
محو کردن ۰/۵	PSNR	۲۷/۲۲۲۱	۲۷/۲۷۹۷	۰/۰۴۹۵۸۱	۲۷/۴۴۱۶	۲۷/۵۰۸۶	۰/۰۴۹۵۵۹
	SSIM	۰/۹۸۵۵	۰/۹۸۵۸		۰/۹۸۶۳	۰/۹۸۶۷	
	CRC	۰/۹۹۷۴	۰/۹۹۷۴		۰/۹۹۷۵	۰/۹۹۷۵	
محو کردن ۱	PSNR	۲۴/۰۴۹۴	۲۴/۰۵۰۷	۰/۰۴۹۹۰۹	۲۵/۷۴۰۷	۲۵/۷۶۱۳	۰/۰۴۹۷۰۲
	SSIM	۰/۹۷۸۶	۰/۹۷۸۷		۰/۹۸۱	۰/۹۸۱۲	
	CRC	۰/۹۹۴۵	۰/۹۹۴۵		۰/۹۹۶۳	۰/۹۹۶۳	
بلور حرکتی (۱۵، ۲۰)	PSNR	۱۴/۷۲۶۵	۱۵/۰۴۴	۰/۰۵۴۲۷	۱۸/۸۰۷۴	۱۸/۸۸۰۱	۰/۰۵۱۲۶
	SSIM	۰/۹۶۹۲	۰/۹۵۸۹		۰/۹۷۲۶	۰/۹۷۰۸	
	CRC	۰/۹۵۵۱	۰/۹۵۵۱		۰/۹۸۱۷	۰/۹۸۱۷	
بلور حرکتی (۱۵، ۴۵)	PSNR	۱۳/۹۶۱۷	۱۴/۳۵۴۲	۰/۰۵۵۲۰۵	۱۸/۳۳۱	۱۸/۴۲۰۵	۰/۰۵۱۴۷۹
	SSIM	۰/۹۶۸۶	۰/۹۵۴۵		۰/۹۷۲۱	۰/۹۶۹۹	
	CRC	۰/۹۶۷۲	۰/۹۶۷۲		۰/۹۷۹۶	۰/۹۷۹۶	
تیز کردن ۰/۳	PSNR	۲۷/۶۰۴۱	۲۷/۶۷۹۵	۰/۰۴۹۵۴۱	۲۷/۶۰۳۵	۲۷/۶۷۹	۰/۰۴۹۵۴۱
	SSIM	۰/۹۸۷۵	۰/۹۸۷۹		۰/۹۸۷۵	۰/۹۸۷۹	
	CRC	۰/۹۹۷۶	۰/۹۹۷۶		۰/۹۹۷۶	۰/۹۹۷۶	

	پارامتر ارزیابی	روش پیشنهادی			روش قدیمی		
		روش قدیمی	روش پیشنهادی	روش قدیمی	روش پیشنهادی	روش قدیمی	
تیز کردن ۰/۵	PSNR	۲۷/۵۹۳۸	۲۷/۶۶۹۲	۰/۰۴۹۵۴۱	۲۷/۵۴۶۸	۲۷/۶۲۱۴	۰/۰۴۹۵۴۱
	SSIM	۰/۹۸۷۴	۰/۹۸۷۸		۰/۹۸۷۱	۰/۹۸۷۵	
	CRC	۰/۹۹۷۶	۰/۹۹۷۶		۰/۹۹۷۶	۰/۹۹۷۶	
تیز کردن ۱	PSNR	۲۷/۵۷۷۱	۲۷/۶۵۲۳	۰/۰۴۹۵۴۱	۲۷/۲۰۸۶	۲۷/۲۷۴۱	۰/۰۴۹۵۵۲
	SSIM	۰/۹۸۷۴	۰/۹۸۷۸		۰/۹۸۵	۰/۹۸۵۴	
	CRC	۰/۹۹۷۶	۰/۹۹۷۶		۰/۹۹۷۴	۰/۹۹۷۴	
فشرده سازی JPEG با فاکتور Q=5	PSNR	۲۴/۲۹۴۶	۲۴/۲۹۸۵	۰/۰۴۹۸۴۵	۲۳/۹۳۰۴	۲۳/۹۳۰۶	۰/۰۴۹۸۷۹
	SSIM	۰/۹۷۹۱	۰/۹۷۹۲		۰/۹۷۸۲	۰/۹۷۸۲	
	CRC	۰/۹۹۴۸	۰/۹۹۴۸		۰/۹۹۴۳	۰/۹۹۴۳	
فشرده سازی JPEG با فاکتور Q=10	PSNR	۲۴/۱۴۰۶	۲۴/۱۴۳۵	۰/۰۴۹۸۵۸	۲۶/۶۸۸۹	۲۶/۷۳۹۷	۰/۰۴۹۵۸۱
	SSIM	۰/۹۷۹۱	۰/۹۷۹۲		۰/۹۸۲۷	۰/۹۸۳	
	CRC	۰/۹۹۴۶	۰/۹۹۴۶		۰/۹۹۷	۰/۹۹۷	
فشرده سازی JPEG با فاکتور Q=20	PSNR	۲۷/۱۲۱۵	۲۷/۱۸۱۳	۰/۰۴۹۵۶۸	۲۷/۲۴۵۹	۲۷/۳۰۶۶	۰/۰۴۹۵۷۱
	SSIM	۰/۹۸۵	۰/۹۸۵۴		۰/۹۸۵۴	۰/۹۸۵۷	
	CRC	۰/۹۹۷۳	۰/۹۹۷۳		۰/۹۹۷۴	۰/۹۹۷۴	
فشرده سازی JPEG با فاکتور Q=80	PSNR	۲۷/۵۹۷۶	۲۷/۶۷۱۹	۰/۰۴۹۵۴۴	۲۷/۶۰۸	۲۷/۶۸۲۴	۰/۰۴۹۵۴۵
	SSIM	۰/۹۸۷۴	۰/۹۸۷۸		۰/۹۸۷۵	۰/۹۸۷۹	
	CRC	۰/۹۹۷۶	۰/۹۹۷۶		۰/۹۹۷۶	۰/۹۹۷۶	
فشرده سازی JPEG با فاکتور Q=90	PSNR	۲۷/۶۱۶۳	۲۷/۶۹۱۲	۰/۰۴۹۵۴۳	۲۷/۶۰۹۷	۲۷/۶۸۲۵	۰/۰۴۹۵۴۳
	SSIM	۰/۹۸۷۶	۰/۹۸۸		۰/۹۸۷۵	۰/۹۸۸	
	CRC	۰/۹۹۷۶	۰/۹۹۷۶		۰/۹۹۷۶	۰/۹۹۷۶	
نویز گاوسی (۰.۰/۰.۰۱)	PSNR	۲۷/۶۰۰۲	۲۷/۶۵۸۷	۰/۰۴۹۵۴	۲۷/۶۰۰۹	۲۷/۶۵۹۵	۰/۰۴۹۵۴
	SSIM	۰/۹۸۷۵	۰/۹۸۷۷		۰/۹۸۷۵	۰/۹۸۷۷	
	CRC	۰/۹۹۷۶	۰/۹۹۷۶		۰/۹۹۷۶	۰/۹۹۷۶	
نویز گاوسی (۰.۰/۰.۱)	PSNR	۲۷/۳۸۱۶	۲۷/۴۱۸۴	۰/۰۴۹۵۶۴	۲۷/۱۵۸۶	۲۷/۳۰۰۵	۰/۰۴۹۵۶۶
	SSIM	۰/۹۸۶۴	۰/۹۸۶۶		۰/۹۸۴۳	۰/۹۸۶	
	CRC	۰/۹۹۷۵	۰/۹۹۷۵		۰/۹۹۷۳	۰/۹۹۷۴	
نویز گاوسی (۰.۰/۱)	PSNR	۱۱/۶۴۹۱	۱۲/۳۴۷۳	۰/۰۵۹۵۷۲	۱۶/۴۰۵۱	۱۶/۷۴۸	۰/۰۵۲۴۱۹
	SSIM	۰/۹۶۶۸	۰/۹۳۱۴		۰/۹۷۰۱	۰/۹۶۵۷	
	CRC	۰/۹۱۵	۰/۹۱۲۷		۰/۹۶۸۷	۰/۹۶۹۹	
نویز گاوسی (۰.۰/۳)	PSNR	۴/۹۰۵۵	۷/۵۲۲	۰/۰۹۹۱۹۱	۹/۹۳۷۳	۱۰/۵۷۷	۰/۰۶۵۲۸۴
	SSIM	۰/۹۶۱۶	۰/۶۰۶۸		۰/۹۶۴۹	۰/۸۸۷۹	
	CRC	۰/۷۲۴۳	۰/۷۱۰۱		۰/۸۷۹۶	۰/۸۶۸۷	
نویز نقطه ای ۰/۰.۰۱	PSNR	۲۷/۶۰۸۹	۲۷/۶۵۴	۰/۰۴۹۵۴	۲۷/۵۷۶۲	۲۷/۶۷۳۸	۰/۰۴۹۵۴۱
	SSIM	۰/۹۸۷۵	۰/۹۸۷۷		۰/۹۸۷۳	۰/۹۸۷۸	
	CRC	۰/۹۹۷۶	۰/۹۹۷۶		۰/۹۹۷۶	۰/۹۹۷۶	
نویز نقطه ای ۰/۰.۱	PSNR	۲۷/۴۸۸۷	۲۷/۶۷۸۶	۰/۰۴۹۵۴۴	۲۷/۵۳۹۶	۲۷/۵۶۱۵	۰/۰۴۹۵۵۲
	SSIM	۰/۹۸۶۹	۰/۹۸۷۸		۰/۹۸۶۹	۰/۹۸۷	
	CRC	۰/۹۹۷۵	۰/۹۹۷۶		۰/۹۹۷۶	۰/۹۹۷۵	
نویز نقطه ای ۰/۱	PSNR	۱۴/۵۸۳۲	۱۴/۱۴۳۶	۰/۰۵۵۵۶۱	۱۸/۱۷۴۴	۱۷/۹۵۷۹	۰/۰۵۱۶۸۲
	SSIM	۰/۹۶۹۲	۰/۹۵۲۳		۰/۹۷۱۸	۰/۹۶۸۹	
	CRC	۰/۹۵۳۸	۰/۹۴۴۵		۰/۹۷۸۹	۰/۹۷۷۳	

	پارامتر ارزیابی	روش پیشنهادی		روش قدیمی	روش پیشنهادی		
		روش قدیمی	روش پیشنهادی		روش قدیمی	روش پیشنهادی	
نویز نقطه‌ای ۰/۳	PSNR	۵/۵۳۶۷	۷/۹۲۴۵	۰/۰۹۱۱۲۳	۱۰/۵۷۲۷	۱۱/۴۳۷۸	۰/۰۶۱۸۹
	SSIM	۰/۹۶۲۱	۰/۶۶۹۵		۰/۹۶۵۶	۰/۹۱۳۷	
	CRC	۰/۷۴۸۵	۰/۷۴۰۳		۰/۸۹۴۱	۰/۸۹۳۷	
نویز نمک و لفل ۰/۰۱	PSNR	۲۷/۶۰۹۲	۲۷/۶۷۹۴	۰/۰۴۹۵۴۳	۲۷/۶۰۸۴	۲۷/۶۷۷۳	۰/۰۴۹۵۴۱
	SSIM	۰/۹۸۷۵	۰/۹۸۷۹		۰/۹۸۷۵	۰/۹۸۷۹	
	CRC	۰/۹۹۷۶	۰/۹۹۷۶		۰/۹۹۷۶	۰/۹۹۷۶	
نویز نمک و لفل ۰/۰۱	PSNR	۲۷/۱۴۶۹	۲۷/۳۴۰۹	۰/۰۴۹۵۷۶	۲۷/۱۳۵۷	۲۷/۴۷۹۲	۰/۰۴۹۵۵
	SSIM	۰/۹۸۵۳	۰/۹۸۶۴		۰/۹۸۴۳	۰/۹۸۶۲	
	CRC	۰/۹۹۷۳	۰/۹۹۷۴		۰/۹۹۷۳	۰/۹۹۷۵	
نویز نمک و لفل ۰/۱	PSNR	۱۵/۷۹۲۲	۱۶/۱۹۵۱	۰/۰۵۳۰۶۲	۱۹/۹۸۸۹	۲۰/۵۹۳۲	۰/۰۵۰۵۵۲
	SSIM	۰/۹۷۰۲	۰/۹۶۴۱		۰/۹۷۳۲	۰/۹۷۳۱	
	CRC	۰/۹۶۴۴	۰/۹۶۵۸		۰/۹۸۶	۰/۹۸۷۷	
نویز نمک و لفل ۰/۳	PSNR	۶/۳۱۴	۸/۷۰۴۶	۰/۰۸۰۰۷۸	۱۱/۴۰۳۲	۱۲/۱۷۳۸	۰/۰۵۹۳۷۹
	SSIM	۰/۹۶۲۷	۰/۷۶۲۵		۰/۹۶۶	۰/۹۳۰۳	
	CRC	۰/۷۷۶۶	۰/۷۸۸۹		۰/۹۰۹۶	۰/۹۱۱۱	

جدول (۲): مقایسه میزان شفافیت و مقاومت روش پیشنهادی با روش سنتی

	پارامتر ارزیابی	روش پیشنهادی		روش قدیمی	روش پیشنهادی		
		روش قدیمی	روش پیشنهادی		روش قدیمی	روش پیشنهادی	
حمله		Baboon	Baboon	alpha	Peppers	Peppers	alpha
بدون حمله	PSNR	۲۷/۶۰۴۵	۲۷/۶۸	۰/۰۴۹۵۴۱	۲۷/۶۰۴۵	۲۷/۶۸	۰/۰۴۹۵۴۱
	SSIM	۰/۹۸۷۵	۰/۹۸۷۹		۰/۹۸۷۵	۰/۹۸۷۹	
	CRC	۰/۹۹۷۶	۰/۹۹۷۶		۰/۹۹۷۶	۰/۹۹۷۶	
فیلتر میانگین ۳*۳	PSNR	۲۶/۶۰۸۴	۲۶/۶۴۷۶	۰/۰۴۹۶۲۸	۲۵/۸۱۳۱	۲۵/۸۳۴۹	۰/۰۴۹۶۹۶
	SSIM	۰/۹۸۳۴	۰/۹۸۳۷		۰/۹۸۱۳	۰/۹۸۱۶	
	CRC	۰/۹۹۷	۰/۹۹۷		۰/۹۹۶۳	۰/۹۹۶۳	
فیلتر میانگین ۵*۵	PSNR	۲۴/۶۵۵۱	۲۴/۶۶۰۶	۰/۰۴۹۸۲۵	۲۳/۰۷۹۲	۲۳/۰۷۹۵	۰/۰۵۰۰۴۸
	SSIM	۰/۹۷۹۵	۰/۹۷۹۷		۰/۹۷۷۲	۰/۹۷۷۲	
	CRC	۰/۹۹۵۲	۰/۹۹۵۲		۰/۹۹۳۱	۰/۹۹۳۱	
فیلتر پایین‌گذر گاوسی ۳*۳	PSNR	۲۷/۵۳۱	۲۷/۶۰۱۴	۰/۰۴۹۵۵۳	۲۷/۴۲۷۷	۲۷/۴۹۳۳	۰/۰۴۹۵۶۱
	SSIM	۰/۹۸۷	۰/۹۸۷۴		۰/۹۸۶۴	۰/۹۸۶۷	
	CRC	۰/۹۹۷۶	۰/۹۹۷۶		۰/۹۹۷۵	۰/۹۹۷۵	
فیلتر پایین‌گذر گاوسی ۵*۵	PSNR	۲۷/۵۳	۲۷/۶۰۰۴	۰/۰۴۹۵۵۳	۲۷/۴۲۵۸	۲۷/۴۹۲۱	۰/۰۴۹۵۶۱
	SSIM	۰/۹۸۷	۰/۹۸۷۴		۰/۹۸۶۴	۰/۹۸۶۷	
	CRC	۰/۹۹۷۶	۰/۹۹۷۶		۰/۹۹۷۵	۰/۹۹۷۵	






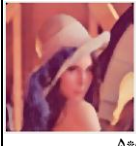






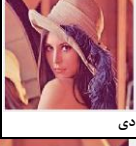
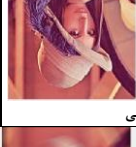













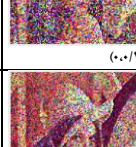

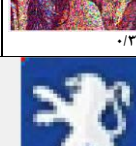
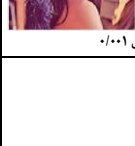

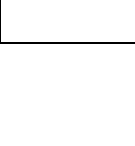

	پارامتر ارزیابی	روش پیشنهادی			روش قدیمی		
		روش قدیمی	روش پیشنهادی	روش پیشنهادی	روش قدیمی	روش پیشنهادی	روش پیشنهادی
فیلتر میانه ۳*۳	PSNR	۲۷/۵۶۳۱	۲۷/۶۳۷۱	./۰.۴۹۵۴۳	۲۷/۵۲۷۴	۲۷/۵۹۹۳	./۰.۴۹۵۴۸
	SSIM	۰/۹۸۷۲	۰/۹۸۷۶		۰/۹۸۷۱	۰/۹۸۷۵	
	CRC	۰/۹۹۷۶	۰/۹۹۷۶		۰/۹۹۷۶	۰/۹۹۷۶	
فیلتر میانه ۵*۵	PSNR	۲۷/۴۷۷۵	۲۷/۵۴۵۶	./۰.۴۹۵۵۵	۲۷/۱۶۹۳	۲۷/۲۲۷۶	./۰.۴۹۵۷۶
	SSIM	۰/۹۸۶۷	۰/۹۸۷۱		۰/۹۸۵۵	۰/۹۸۵۹	
	CRC	۰/۹۹۷۵	۰/۹۹۷۵		۰/۹۹۷۳	۰/۹۹۷۳	
برش دادن [۱۵۰، ۱۵۰]	PSNR	۲۰/۶۲۳۱	۲۰/۶۳۰۳	./۰.۵۰۳۲۴	۱۷/۶۵۷۸	۱۷/۷۷۰۹	./۰.۵۱۸
	SSIM	۰/۹۷۳۱	۰/۹۷۲۶		۰/۹۷۱۸	۰/۹۶۸۹	
	CRC	۰/۹۸۷۸	۰/۹۸۷۸		۰/۹۷۶۳	۰/۹۷۶۳	
دوران ۵	PSNR	۱۵/۲۳۵۴	۱۵/۵۰۸۶	./۰.۵۳۷۲۷	۱۵/۸۲۹۸	۱۶/۰۰۵۶	./۰.۵۳۱۵۹
	SSIM	۰/۹۶۹۶	۰/۹۶۱۲		۰/۹۷۰۵	۰/۹۶۴	
	CRC	۰/۹۵۹۸	۰/۹۵۹۸		۰/۹۶۴۶	۰/۹۶۴۶	
دوران ۳۰	PSNR	۱۸/۰۰۰۹	۱۸/۰۹۴۷	./۰.۵۱۵۷۵	۱۱/۲۶۶۴	۱۲/۰۲۱۸	./۰.۶۰۰۶۹
	SSIM	۰/۹۷۱۴	۰/۹۶۹		۰/۹۶۶۴	۰/۹۲۶۵	
	CRC	۰/۹۷۸	۰/۹۷۸		۰/۹۰۷۸	۰/۹۰۷۸	
دوران ۴۵	PSNR	۲۳/۰۶۳۲	۲۳/۰۶۴۱	./۰.۴۹۹۱۶	۱۱/۳۶۵۶	۱۲/۱۰۶۲	./۰.۵۹۸۴۵
	SSIM	۰/۹۷۵۴	۰/۹۷۵۵		۰/۹۶۶۵	۰/۹۲۸	
	CRC	۰/۹۹۳۱	۰/۹۹۳۱		۰/۹۰۹۷	۰/۹۰۹۷	
دوران ۷۰	PSNR	۱۴/۰۹۵	۱۴/۴۷۲۴	./۰.۵۵۰۲۴	۶/۷۵۸۹	۸/۷۵۳۳	./۰.۷۹۴۶۶
	SSIM	۰/۹۶۸۸	۰/۹۵۵۶		۰/۹۶۳۶	۰/۷۶۹۴	
	CRC	۰/۹۴۸۷	۰/۹۴۸۷		۰/۷۹۱۶	۰/۷۹۱۶	
دوران ۱۱۰	PSNR	۱۱/۷۰۰۳	۱۲/۳۸۴۲	./۰.۵۹۰۷۴	۹/۸۰۹۷	۱۰/۸۷۱۱	./۰.۶۴۳۴۹
	SSIM	۰/۹۶۶۵	۰/۹۳۲۷		۰/۹۶۵۵	۰/۸۹۵۸	
	CRC	۰/۹۱۵۵	۰/۹۱۵۵		۰/۸۷۷۹	۰/۸۷۷۹	
انتقال (۵، ۱۰)	PSNR	۱۱/۱۷۰۲	۱۱/۹۵۴۴	./۰.۵۸۴۵۱	۹/۲۱۴۷	۱۰/۴۲۷	./۰.۶۶۵۵۴
	SSIM	۰/۹۶۶۲	۰/۹۲۴۴		۰/۹۶۴۸	۰/۸۷۸۵	
	CRC	۰/۹۰۶۳	۰/۹۰۶۳		۰/۸۶۳۷	۰/۸۶۳۷	
انتقال (۱۰، ۱۰)	PSNR	۸/۶۶۲۲	۱۰/۰۲۵۹	./۰.۶۸۸۷	۶/۷۱۹۹	۸/۷۲۵۱	./۰.۷۹۷۱۹
	SSIM	۰/۹۶۴۳	۰/۸۵۹۵		۰/۹۶۳۹	۰/۷۶۶	
	CRC	۰/۸۴۹۴	۰/۸۴۹۴		۰/۷۹۰۱	۰/۷۹۰۱	

	پارامتر ارزیابی	روش پیشنهادی			روش قدیمی		
		روش قدیمی	روش پیشنهادی	روش پیشنهادی	روش قدیمی	روش پیشنهادی	روش پیشنهادی
انتقال (۱۰، ۱۵)	PSNR	۶/۸۲۱۹	۸/۷۹۰۳	./۰.۷۹۰۲۹	۵/۷۱۹	۸/۱۳۲۷	./۰.۸۷۴۹۷
	SSIM	۰/۹۶۲۹	۰/۷۷۱۶		۰/۹۶۲۲	۰/۶۹۹	
	CRC	۰/۷۹۳۶	۰/۷۹۳۶		۰/۷۵۴۵	۰/۷۵۴۵	
برگردان افقی	PSNR	۲۷/۶۰۴۵	۲۷/۶۸	./۰.۴۹۵۴۱	۲۷/۶۰۴۵	۲۷/۶۸	./۰.۴۹۵۴۱
	SSIM	۰/۹۸۷۵	۰/۹۸۷۹		۰/۹۸۷۵	۰/۹۸۷۹	
	CRC	۰/۹۹۷۶	۰/۹۹۷۶		۰/۹۹۷۶	۰/۹۹۷۶	
برگردان عمودی	PSNR	۲۷/۶۰۴۵	۲۷/۶۸	./۰.۴۹۵۴۱	۲۷/۶۰۴۵	۲۷/۶۸	./۰.۴۹۵۴۱
	SSIM	۰/۹۸۷۵	۰/۹۸۷۹		۰/۹۸۷۵	۰/۹۸۷۹	
	CRC	۰/۹۹۷۶	۰/۹۹۷۶		۰/۹۹۷۶	۰/۹۹۷۶	
محو کردن ۰/۳	PSNR	۲۷/۶۰۶۵	۲۷/۶۸۲	./۰.۴۹۵۴۱	۲۷/۶۰۶۷	۲۷/۶۸۲۲	./۰.۴۹۵۴۱
	SSIM	۰/۹۸۷۵	۰/۹۸۷۹		۰/۹۸۷۵	۰/۹۸۷۹	
	CRC	۰/۹۹۷۶	۰/۹۹۷۶		۰/۹۹۷۶	۰/۹۹۷۶	
محو کردن ۰/۵	PSNR	۲۷/۵۳	۲۷/۶۰۰۴	./۰.۴۹۵۵۳	۲۷/۴۲۵۸	۲۷/۴۹۲	./۰.۴۹۵۶۱
	SSIM	۰/۹۸۷	۰/۹۸۷۴		۰/۹۸۶۴	۰/۹۸۶۷	
	CRC	۰/۹۹۷۶	۰/۹۹۷۶		۰/۹۹۷۵	۰/۹۹۷۵	
محو کردن ۱	PSNR	۲۶/۴۴۸۳	۲۶/۴۸۳۳	./۰.۴۹۶۴۲	۲۵/۵۷۴۴	۲۵/۵۹۱۹	./۰.۴۹۷۱۹
	SSIM	۰/۹۸۳	۰/۹۸۳۳		۰/۹۸۰۹	۰/۹۸۱۱	
	CRC	۰/۹۹۶۸	۰/۹۹۶۸		۰/۹۹۶۱	۰/۹۹۶۱	
بلور حرکتی (۱۵، ۲۰)	PSNR	۲۰/۳۰۴	۲۰/۳۳۶۶	./۰.۵۰۷۰۸	۱۷/۷۸۸۸	۱۷/۹۰۱۲	./۰.۵۱۷۶۶
	SSIM	۰/۹۷۴۴	۰/۹۷۳۵		۰/۹۷۱۹	۰/۹۶۹	
	CRC	۰/۹۸۶۹	۰/۹۸۶۹		۰/۹۷۷	۰/۹۷۷	
بلور حرکتی (۱۵، ۴۵)	PSNR	۱۹/۸۵۰۶	۱۹/۸۹۳۶	./۰.۵۰۸۵۷	۱۷/۳۴۱	۱۷/۴۷۴۳	./۰.۵۲۰۲۸
	SSIM	۰/۹۷۳۹	۰/۹۷۲۸		۰/۹۷۱۴	۰/۹۶۸	
	CRC	۰/۹۸۵۵	۰/۹۸۵۵		۰/۹۷۴۶	۰/۹۷۴۶	
تیز کردن ۰/۳	PSNR	۲۷/۶۰۳	۲۷/۶۷۸۵	./۰.۴۹۵۴۱	۲۷/۶۰۲۷	۲۷/۶۷۸۲	./۰.۴۹۵۴۱
	SSIM	۰/۹۸۷۵	۰/۹۸۷۹		۰/۹۸۷۵	۰/۹۸۷۹	
	CRC	۰/۹۹۷۶	۰/۹۹۷۶		۰/۹۹۷۶	۰/۹۹۷۶	
تیز کردن ۰/۵	PSNR	۲۷/۴۶۴۳	۲۷/۵۳۶۵	./۰.۴۹۵۴۳	۲۷/۴۰۸۷	۲۷/۴۸۰۳	./۰.۴۹۵۴۳
	SSIM	۰/۹۸۶۶	۰/۹۸۷		۰/۹۸۶۲	۰/۹۸۶۶	
	CRC	۰/۹۹۷۵	۰/۹۹۷۵		۰/۹۹۷۵	۰/۹۹۷۵	
تیز کردن ۱	PSNR	۲۶/۷۹۴۵	۲۶/۸۴۸۹	./۰.۴۹۵۷۲	۲۶/۰۹۴۸	۲۶/۱۳۳	./۰.۴۹۶۱

	پارامتر ارزیابی	روش پیشنهادی		روش قدیمی	روش پیشنهادی		
		روش قدیمی	روش پیشنهادی		روش قدیمی	روش پیشنهادی	
	SSIM	۰/۹۸۳۵	۰/۹۸۳۹		۰/۹۸۱۵	۰/۹۸۱۸	
	CRC	۰/۹۹۷۱	۰/۹۹۷۱		۰/۹۹۶۶	۰/۹۹۶۶	
فشرده‌سازی JPEG با فاکتور Q=5	PSNR	۲۳/۳۲۱۴	۲۳/۳۲۲۴	۰/۰۴۹۹۱۲	۲۰/۱۹۱۸	۲۰/۲۱۰۷	۰/۰۵۰۵۴۸
	SSIM	۰/۹۷۷	۰/۹۷۷۱		۰/۹۷۳۵	۰/۹۷۲۹	
	CRC	۰/۹۹۳۵	۰/۹۹۳۵		۰/۹۸۶۶	۰/۹۸۶۶	
فشرده‌سازی JPEG با فاکتور Q=10	PSNR	۲۶/۳۴۰۶	۲۶/۳۷۳۷	۰/۰۴۹۶۴۷	۲۶/۹۳۱۶	۲۶/۹۸۶۴	۰/۰۴۹۵۷۵
	SSIM	۰/۹۸۳۳	۰/۹۸۳۶		۰/۹۸۳۲	۰/۹۸۳۵	
	CRC	۰/۹۹۶۸	۰/۹۹۶۸		۰/۹۹۷۲	۰/۹۹۷۲	
فشرده‌سازی JPEG با فاکتور Q=20	PSNR	۲۷/۵۱۹	۲۷/۵۸۳۸	۰/۰۴۹۵۵۸	۲۷/۳۵۵۱	۲۷/۴۲۳	۰/۰۴۹۵۴۷
	SSIM	۰/۹۸۶۹	۰/۹۸۷۲		۰/۹۸۵۸	۰/۹۸۶۲	
	CRC	۰/۹۹۷۶	۰/۹۹۷۶		۰/۹۹۷۵	۰/۹۹۷۵	
فشرده‌سازی JPEG با فاکتور Q=80	PSNR	۲۷/۶۱۵۶	۲۷/۶۸۹۷	۰/۰۴۹۵۴۵	۲۷/۴۴۰۱	۲۷/۵۱۱۹	۰/۰۴۹۵۴۴
	SSIM	۰/۹۸۷۶	۰/۹۸۸		۰/۹۸۶۲	۰/۹۸۶۶	
	CRC	۰/۹۹۷۶	۰/۹۹۷۶		۰/۹۹۷۵	۰/۹۹۷۵	
فشرده‌سازی JPEG با فاکتور Q=90	PSNR	۲۷/۶۱۵۲	۲۷/۶۹۰۱	۰/۰۴۹۵۴۳	۲۷/۴۸۱۵	۲۷/۵۵۴۱	۰/۰۴۹۵۴۳
	SSIM	۰/۹۸۷۶	۰/۹۸۸		۰/۹۸۶۵	۰/۹۸۶۹	
	CRC	۰/۹۹۷۶	۰/۹۹۷۶		۰/۹۹۷۵	۰/۹۹۷۵	
نویز گاوسی (۰.۰/۰.۰۱)	PSNR	۲۷/۵۷۸۹	۲۷/۶۸۵۶	۰/۰۴۹۵۴۲	۲۷/۵۸۳۸	۲۷/۶۵۴۷	۰/۰۴۹۵۴
	SSIM	۰/۹۸۷۳	۰/۹۸۷۹		۰/۹۸۷۳	۰/۹۸۷۷	
	CRC	۰/۹۹۷۶	۰/۹۹۷۶		۰/۹۹۷۶	۰/۹۹۷۶	
نویز گاوسی (۰.۰/۰.۱)	PSNR	۲۷/۵۵۲۷	۲۷/۴۱۴۷	۰/۰۴۹۵۵۶	۲۶/۸۷۰۸	۲۷/۲۱۱	۰/۰۴۹۵۵۵
	SSIM	۰/۹۸۷۲	۰/۹۸۶۵		۰/۹۸۳۱	۰/۹۸۵۴	
	CRC	۰/۹۹۷۶	۰/۹۹۷۵		۰/۹۹۷۲	۰/۹۹۷۳	
نویز گاوسی (۰.۰/۱)	PSNR	۲۴/۸۲۲۸	۲۱/۶۸۰۳	۰/۰۵۰۳	۱۸/۰۸۵	۱۸/۰۶۶	۰/۰۵۱۴۹
	SSIM	۰/۹۷۸۶	۰/۹۷۴۸		۰/۹۷۱	۰/۹۶۸۶	
	CRC	۰/۹۹۵۴	۰/۹۹۰۴		۰/۹۷۸۴	۰/۹۷۷۹	
نویز گاوسی (۰.۰/۳)	PSNR	۱۷/۴۵۸۹	۱۶/۹۴۳	۰/۰۵۲۲۹۶	۱۱/۴۳۱۸	۱۱/۵۶۴۹	۰/۰۶۱۱۰۳
	SSIM	۰/۹۷۰۸	۰/۹۶۶۲		۰/۹۶۵۷	۰/۹۱۸	
	CRC	۰/۹۷۵۲	۰/۹۷۱۳		۰/۹۰۹۹	۰/۸۹۷	
نویز نقطه‌ای ۰/۰.۰۱	PSNR	۲۷/۵۹۹۲	۲۷/۶۸۴۶	۰/۰۴۹۵۴۲	۲۷/۶۰۹۵	۲۷/۶۷۰۵	۰/۰۴۹۵۴۱

	پارامتر ارزیابی	روش قدیمی	روش پیشنهادی		روش قدیمی	روش پیشنهادی	
	SSIM	۰/۹۸۷۵	۰/۹۸۷۹		۰/۹۸۷۵	۰/۹۸۷۸	
	CRC	۰/۹۹۷۶	۰/۹۹۷۶		۰/۹۹۷۶	۰/۹۹۷۶	
نویز نقطه‌ای ۰/۰۱	PSNR	۲۷/۶۰۰۱	۲۷/۶۵۰۹	۰/۰۴۹۵۴۸	۲۷/۵۹۷	۲۷/۶۷۸۲	۰/۰۴۹۵۴۴
	SSIM	۰/۹۸۷۴	۰/۹۸۷۷		۰/۹۸۷۴	۰/۹۸۷۹	
	CRC	۰/۹۹۷۶	۰/۹۹۷۶		۰/۹۹۷۶	۰/۹۹۷۶	
نویز نقطه‌ای ۰/۱	PSNR	۲۳/۴۹۷۷	۲۴/۰۲۷۶	۰/۰۴۹۹۰۹	۲۳/۰۷۳۳	۲۷/۶۲۶۵	۰/۰۴۹۵۵
	SSIM	۰/۹۷۷۶	۰/۹۷۸۳		۰/۹۷۷	۰/۹۸۷۶	
	CRC	۰/۹۹۳۷	۰/۹۹۴۴		۰/۹۹۳۱	۰/۹۹۷۶	
نویز نقطه‌ای ۰/۳	PSNR	۱۴/۶۰۷۵	۱۴/۶۸۵۱	۰/۰۵۴۷۰۶	۱۴/۳۴۹۵	۲۷/۳۷۱۹	۰/۰۴۹۵۷
	SSIM	۰/۹۶۸۸	۰/۹۵۶۵		۰/۹۶۸۷	۰/۹۸۶۴	
	CRC	۰/۹۵۳۹	۰/۹۵۱۲		۰/۹۵۰۱	۰/۹۹۷۴	
نویز نمک و فلفل ۰/۰۰۱	PSNR	۲۷/۵۹۶۳	۲۷/۶۷۸۲	۰/۰۴۹۵۴۱	۲۷/۵۹۴۶	۲۷/۶۷۶۲	۰/۰۴۹۵۴۱
	SSIM	۰/۹۸۷۴	۰/۹۸۷۹		۰/۹۸۷۴	۰/۹۸۷۹	
	CRC	۰/۹۹۷۶	۰/۹۹۷۶		۰/۹۹۷۶	۰/۹۹۷۶	
نویز نمک و فلفل ۰/۰۱	PSNR	۲۷/۴۵۵۷	۲۷/۶۲۵۱	۰/۰۴۹۵۴۴	۲۷/۴۰۸۱	۲۷/۴۷۸۶	۰/۰۴۹۵۴۹
	SSIM	۰/۹۸۶۴	۰/۹۸۷۴		۰/۹۸۵۹	۰/۹۸۶۲	
	CRC	۰/۹۹۷۵	۰/۹۹۷۶		۰/۹۹۷۵	۰/۹۹۷۵	
نویز نمک و فلفل ۰/۱	PSNR	۲۵/۷۹۱۹	۲۵/۱۰۹۴	۰/۰۴۹۷۵۷	۲۰/۳۱۳۳	۲۱/۱۸۶	۰/۰۵۰۳۲۸
	SSIM	۰/۹۸۰۱	۰/۹۷۹۶		۰/۹۷۳	۰/۹۷۳۴	
	CRC	۰/۹۹۶۳	۰/۹۹۵۷		۰/۹۸۶۹	۰/۹۸۹۳	
نویز نمک و فلفل ۰/۳	PSNR	۱۸/۸۵۹	۱۸/۴۵۱۶	۰/۰۵۱۴۳۸	۱۲/۰۳۶۹	۱۳/۸۹۷۷	۰/۰۵۵۵۴۵
	SSIM	۰/۹۷۲۴	۰/۹۷		۰/۹۶۶۲	۰/۹۵۱۸	
	CRC	۰/۹۸۱۹	۰/۹۷۹۸		۰/۹۲۰۲	۰/۹۴۱۲	

جدول (۳): نتایج تصاویر نهان‌نگاری شده (تصویر Lena) و تصویر نهان‌نگاره استخراجی (لوگوی Peugeot)

 فیلتر میانگین ۲×۲	 فیلتر میانگین ۵×۵	 فیلتر پایین‌گذر گاوسی ۳×۳	 فیلتر پایین‌گذر گاوسی ۵×۵
 فیلتر میانه ۲×۲	 فیلتر میانه ۵×۵	 برش دادن (۱۵۰، ۱۵۰)	 دوران ۵
 دوران ۲۰	 دوران ۴۵	 دوران ۷۰	 دوران ۱۱۰
 انتقال (۱۰، ۱۰)	 انتقال (۱۰، ۱۰)	 انتقال (۱۰، ۱۵)	 برگردان عمودی
 برگردان افقی	 محو کردن ۱/۳	 محو کردن ۱/۵	 محو کردن ۱
 بلور حرکتی (۱۵، ۲۰)	 بلور حرکتی (۱۵، ۴۵)	 تیز کردن ۱/۳	 تیز کردن ۱/۵
 تیز کردن ۱	 فشرده‌سازی JPEG با فاکتور Q=5	 فشرده‌سازی JPEG با فاکتور Q=10	 فشرده‌سازی JPEG با فاکتور Q=20
 فشرده‌سازی JPEG با فاکتور Q=80	 فشرده‌سازی JPEG با فاکتور Q=90	 نویز گاوسی (۰، ۰۰۱)	 نویز گاوسی (۰، ۰۱)
 نویز گاوسی (۰، ۰۰۱)	 نویز گاوسی (۰، ۰۱)	 نویز نقطه‌ای ۰، ۰۰۱	 نویز نقطه‌ای ۰، ۰۱
 نویز نقطه‌ای ۰، ۰۱	 نویز نقطه‌ای ۰، ۰۲	 نویز نمک و فلفل ۰، ۰۰۱	 نویز نمک و فلفل ۰، ۰۱
 نویز نمک و فلفل ۰، ۰۱	 نویز نمک و فلفل ۰، ۰۲	 نویز نمک و فلفل ۰، ۰۰۱	 نویز نمک و فلفل ۰، ۰۲

۱۲- نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج آزمایش‌ها، در مقایسه با رویکردهای قدیمی‌تر روش نهان‌نگاری به‌وسیله تبدیلات مختلف به‌ویژه تبدیل فیچک سنتی می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که ترکیب تبدیل فیچک با تبدیل SVD و الگوریتم بهینه‌سازی PSO باعث افزایش شفافیت روش نهان‌نگاری بر روی تصاویر مختلف و در مقابل حملات مختلف به‌ویژه حملات مختلف هندسی و حملات غیرتصادفی خواهد شد. این نتایج حاصله قابل تعمیم و گسترش در کارهای آتی بوده و می‌توان در کاربردهای روزمره و به‌صورت عملی در نرم‌افزارهای واقعی مورد استفاده قرار گیرد.

۱۳- مراجع

- [11] H. A. Abdallah, M. M. Hadhoud, A. A. Shaalan, and F. E. A. El-samie, "Blind wavelet-based image watermarking," *International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition*, vol. 4, no. 1, 2011.
- [12] J. M. Zain and M. Clarke, "Reversible region of non-interest (RONI) watermarking for authentication of DICOM images," *arXiv preprint arXiv:1101.1603*, 2011.
- [13] A. B. Dehkordi, S. N. Esfahani, and A. N. Avanaki, "Robust LSB watermarking optimized for local structural similarity," *In Electrical Engineering (ICEE), 2011 19th Iranian Conference on, IEEE*, pp. 1-6, 2011.
- [14] Z. Wenyin and F. Y. Shih, "Semi-fragile spatial watermarking based on local binary pattern operators," *Optics Communications*, vol. 284, no. 16-17, pp. 3904-3912, 2011.
- [15] Z. Ni, Y.-Q. Shi, N. Ansari, and W. Su, "Reversible data hiding," *IEEE Transactions on circuits and systems for video technology*, vol. 16, no. 3, pp. 354-362, 2006.
- [16] A. K. Kaushik, "A novel approach for digital watermarking of an image using DFT," *Int. J. Electron. Comp. Sci. Eng.*, vol. 1, no. 1, pp. 35-41, 2012.
- [17] M. Ali and C. W. Ahn, "An optimized watermarking technique based on self-adaptive DE in DWT-SVD transform domain," *Signal Processing*, vol. 94, pp. 545-556, 2014.
- [18] A. Vyas, S. Yu, and J. Paik, "Multiscale Transforms with Application to Image Processing," *Springer*, 2018.
- [19] D. Labate, W.-Q. Lim, G. Kutyniok, and G. Weiss, "Sparse multidimensional representation using shearlets," *In Wavelets XI, International Society for Optics and Photonics*, vol. 5914, p. 59140U, 2005.
- [20] K. Guo and D. Labate, "Optimally sparse multidimensional representation using shearlets," *SIAM journal on mathematical analysis*, vol. 39, no. 1, pp. 298-318, 2007.
- [21] S. Ghofrani, "Using Non-Sub sampled Shearlet Transform and Nakagami Model for Ultrasound Image De-Speckling," *Journal of Advances in Computer Research*, vol. 7, no. 1, pp. 131-141, 2016.
- [22] P. Vaidya and C. M. PVSSR, "A robust semi-blind watermarking for color images based on multiple decompositions," *Multimedia Tools and Applications*, vol. 76, no. 24, pp. 25623-25656, 2017.
- [23] M.-J. Tsai, "A visible watermarking algorithm based on the content and contrast aware (COCOA) technique," *Journal of Visual Communication and Image Representation*, vol. 20, no. 5, pp. 323-338, 2009.
- [24] J. Kennedy and R. Eberhart, "Particle swarm optimization," *In Proceedings of ICNN'95 - International Conference on Neural Networks*, vol. 4, pp. 1942-1948, vol. 4, 1995.
- [25] M. Favorskaya and E. Savchina, "Content Preserving Watermarking for Medical Images Using Shearlet Transform and SVD," *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, vol. 42, 2017.
- [26] F. Daraee and S. Mozaffari, "Watermarking in binary document images using fractal codes," *Pattern Recognition Letters*, vol. 35, pp. 120-129, 2014.
- [1] Y. Khorasani, J. Mazloum, and M. S. far, "Increasing Insertion Capacity and Resistance in Image Steganography Based on Mapping and Bits Reduction," *Journal of Electronical & Cyber Defence*, vol. 7, no. 2, Serial no. 26, pp. 33-39, 2019.
- [2] B.-B. Huang and S.-X. Tang, "A contrast-sensitive visible watermarking scheme," *IEEE Multimedia*, vol. 13, no. 2, pp. 60-66, 2006.
- [3] I. Gholampour and R. Amiri, "Relating the Detection Rate, Capacity and the Cost of Steganography by Steganographer Modeling," *Journal of Electronical & Cyber Defence*, vol. 6, no. 3, Serial no. 23, pp. 81-94, 2018.
- [4] S. M. Mousavi, A. Naghsh, and S. Abu-Bakar, "Watermarking techniques used in medical images: a survey," *Journal of digital imaging*, vol. 27, no. 6, pp. 714-729, 2014.
- [5] M. Durvey and D. Satyarthi, "A review paper on digital watermarking," *International Journal of Emerging Trends & Technology in Computer Science*, vol. 3, no. 4, pp. 99-105, 2014.
- [6] R. Patel and P. Bhatt, "A review paper on digital watermarking and its techniques," *International Journal of Computer Applications*, vol. 110, no. 1, pp. 10-13, 2015.
- [7] M. Abdullatif, A. M. Zeki, J. Chebil, and T. S. Gunawan, "Properties of digital image watermarking," *In Signal Processing and its Applications (CSPA), 2013 IEEE 9th International Colloquium on*, pp. 235-240, IEEE, 2013.
- [8] P. Arya, D. S. Tomar, and D. Dubey, "A review on different digital watermarking techniques," *International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition*, vol. 8, no. 10, pp. 129-136, 2015.
- [9] A.-N. Yahya, H. A. Jalab, A. Wahid, and R. M. Noor, "Robust watermarking algorithm for digital images using discrete wavelet and probabilistic neural network," *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, vol. 27, no. 4, pp. 393-401, 2015.
- [10] S. A. Kasmani and A. R. Naghsh-Nilchi, "Robust digital image watermarking based on joint DWT-DCT," 2009.

- [29] K. Heylen and T. Dams, "An image watermark tutorial tool using Matlab," in Mathematics of Data/Image Pattern Recognition, Compression, and Encryption with Applications XI, p. 70750D: International Society for Optics and Photonics, vol. 7075, 2008.
- [30] V. S. Jabade and D. S. R. Gengaje, "Literature review of wavelet based digital image watermarking techniques," Int. J. Comput. Appl., vol. 31, no. 1, pp. 28-35, 2011.
- [27] Q. Li and E.-C. Chang, "On the possibility of non-invertible watermarking schemes," In International Workshop on Information Hiding, Springer, pp. 13-24, 2004.
- [28] Z. Wang, A. C. Bovik, H. R. Sheikh, and E. P. Simoncelli, "Image quality assessment: from error visibility to structural similarity," IEEE transactions on image processing, vol. 13, no. 4, pp. 600-612, 2004.