

**Robust and Semi-Blind Digital Image Watermarking Method Based on DWT and SVD****Mohammadreza Rezayatmand<sup>1,2</sup>, M.Sc, Alireza Naghsh<sup>1,2</sup>, Assistant Professor**<sup>1</sup>Department of Electrical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran  
<sup>2</sup>Digital Processing and Machine Vision Research Center, Najafabad Branch, Islamic Azad University,  
Najafabad, Iran

rezayatmand2@gmail.com, naghsh.a@pel.iaun.ac.ir

**Abstract**

The widespread emergence of computer networks and the popularity of electronic managing of medical records have made it possible for digital medical images to be shared across the world for services such as telemedicine, tele radiology, tele diagnosis, and teleconsultation. Instant diagnosis and understanding of a certain disease as well as cutting down the number of misdiagnosis has had extensive social and economic impact, clearly showing the need for efficient patient information sharing between specialists of different hospitals. In the handling of medical images, the main priority is to secure protection for the patient's documents against any act of tampering by unauthorized persons. Thus, the main concern of the existing electronic medical system is to develop some standard solution to preserve the authenticity and integrity of the content of medical images. Accordingly, digital image watermarking has many applications, one of its most important applications in Protection of medical images, engrave names, Signatures and Patient data on pictures, Videos etc. that are not so clear. There are several ways to digital image watermarking, but one of the most widely used methods to achieve robust watermarking to all kinds of attacks using the combination dwt and svd.

We used in this research 2 level of haar wavelet transform on the host image and one level of single value decomposition on its low frequency subset and combined with a watermark coefficient and another level of singular value decomposition to embed the watermark and increase the watermark robustness in a way that when extracting a watermark can be done semi-blindly. With this method, we were able to improve the average peak signal to noise ratio of 55 and 7% improvement for the invisibility of the watermark and also the average correlation coefficient of 0.97 and 34% improvement to increase the resistance of the watermark to various attacks.

**Keywords:** discrete wavelet transform, haar wavelet transform, singular value decomposition, digital image watermarking, medical image watermarking, robust watermarking, semi blind watermarking

**Received:** 31 January 2021**Revised:** 14 March 2021**Accepted:** 27 April 2021**Corresponding Author:** Dr. Alireza Naghsh

**Citation:** M. Rezayatmand, A. Naghsh, "A new robust and semi-blind digital image watermarking method based on DWT and SVD", Journal of Intelligent Procedures in Electrical Technology, vol. 13, no. 51, pp. 1-18, December 2022 (in Persian).

## نهان‌نگاری مقاوم و نیمه کور تصاویر دیجیتال بر اساس تابع تبدیل موجک گسسته و تجزیه مقادیر تکین

محمد رضا رضایتمند<sup>۱،۲</sup>، دانشجوی کارشناسی ارشد، علیرضا نقش<sup>۱،۲</sup>، استادیار

۱- دانشکده مهندسی برق- واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

۲- مرکز تحقیقات پردازش تصویر و بینایی ماشین- واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

rezayatmand2@gmail.com, naghsh.a@pel.iaun.ac.ir

**چکیده:** ظهور گسترده شبکه‌های رایانه‌ای و محبوبیت مدیریت پرونده الکترونیکی بیماران، امکان به اشتراک‌گذاری تصاویر پزشکی دیجیتال در سراسر دنیا را برای خدماتی مانند پزشکی از راه دور، رادیولوژی از راه دور، تشخیص از راه دور و مشاوره از راه دور فراهم کرده است. تشخیص و درک فوری یک بیماری خاص و همچنین کاهش تعداد تشخیص اشتباه، تأثیرات گسترده اجتماعی و اقتصادی داشته است. در کار با تصاویر پزشکی، اولویت اصلی تأمین امنیت اسناد بیمار در برابر هرگونه دست‌کاری توسط افراد غیرمجاز است؛ بنابراین، نگرانی اصلی سیستم پزشکی الکترونیکی موجود، ایجاد برخی از راه‌حل‌های استاندارد برای حفظ اصالت و یکپارچگی محتوای تصاویر پزشکی است. بر این اساس نهان‌نگاری تصاویر دیجیتال زمینه‌های کاربردی فراوانی دارد، یکی از مهمترین کاربردهای آن در حفاظت از تصاویر پزشکی، حک کردن اسم‌ها، امضاها و مشخصات بیماران بر روی تصاویر، ویدئوها و غیره است به طوری که مشخص نخواهد بود. شیوه‌های مختلفی برای نهان‌نگاری تصاویر دیجیتال ارائه شده‌اند، اما در این بین یکی از پرکاربردترین روش‌ها جهت دستیابی به نهان‌نگاری مقاوم در برابر انواع حملات به کارگیری ترکیب حوزه تبدیل موجک گسسته و تجزیه مقدار منفرد است. ما در این تحقیق از دو مرحله تبدیل موجک‌ها بر روی تصویر میزبان و یک سطح تجزیه‌ی مقدار منفرد روی زیر گروه فرکانس پایین آن و ترکیب با ضریبی از نهان‌نگار و یک سطح دیگر تجزیه‌ی مقدار منفرد جهت جای‌گذاری نهان‌نگار و افزایش مقاومت نهان‌نگاری استفاده کرده‌ایم به صورتی که در زمان استخراج نهان‌نگار به صورت نیمه کور عمل کرد. با این روش توانسته‌ایم به طور متوسط به نسبت حداکثر سیگنال به نویز ۵۵ و ۷ درصد بهبود جهت غیر قابل مشاهده بودن نهان‌نگار و همچنین به طور متوسط به ضریب همبستگی ۰/۹۷ و ۳۴ درصد بهبود جهت افزایش مقاومت نهان‌نگاری نسبت به حملات مختلف برسیم.

**کلمات کلیدی:** تبدیل موجک گسسته، تبدیل موجک هار، تجزیه مقدار منفرد، نهان‌نگاری تصاویر دیجیتال، نهان‌نگاری تصاویر پزشکی، نهان‌نگاری مقاوم، نهان‌نگاری نیمه کور

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۹/۱۱/۱۲

تاریخ بازنگری مقاله: ۱۳۹۹/۱۲/۲۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۲/۷

نام نویسنده‌ی مسئول: دکتر علیرضا نقش

نشانی نویسنده‌ی مسئول: نجف‌آباد- بلوار دانشگاه- دانشکده مهندسی برق- دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد

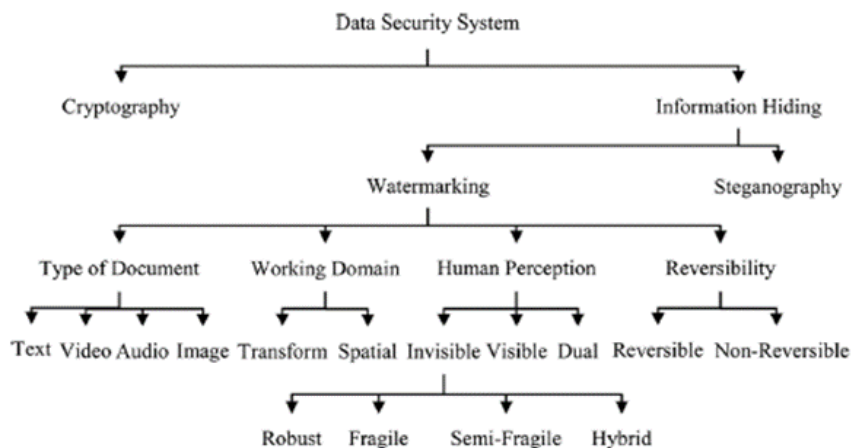
## ۱- مقدمه

نهان‌نگاری در سال‌های اخیر تبدیل به یک موضوع مهم تحقیقاتی مبدل شده است. این هنر و علم تعبیه اطلاعات در تصویر پوششی مانند متن، ویدیو، صدا و یا محتوای چند رسانه‌ای برای ارتباطات نظامی، احراز هویت و بسیاری دیگر از اهداف است. این روش با روش‌های مخفی کردن پیام ارتباطی و وجود آن از کاربر ناخواسته در ارتباط است [۱، ۲].

براین اساس، یک راه‌حل برای حل مسئله فوق استفاده از نهان‌نگاری دیجیتال است. به عبارت دیگر، نهان‌نگاری می‌تواند با درج اطلاعات ویژه‌ای، به‌عنوان نهان‌نگار یا داده‌های مخفی، به روشی نامحسوس امنیت تصاویر پزشکی را افزایش دهد. اطلاعات نهان نگار معمولاً با فرمت باینری به مقدار پیکسل تصویر میزبان وارد می‌شوند. بعداً می‌توان این اطلاعات را بازیابی و بررسی کرد که آیا تصویر پزشکی با منبع واقعی توزیع شده (صحت) یا متعلق به بیمار صحیح (یکپارچگی) است [۳].

مفهوم نهان‌نگاری با دو زمینه دیگر رمزنگاری و استگانوگرافی ارتباط نزدیک دارد. این مفاهیم تحت حوزه‌ای به نام سیستم امنیت داده قرار می‌گیرند. رمزنگاری روشی برای ارسال پیام در قالب امن است که فقط شخص مجاز می‌تواند آن را رمزگشایی کند و به‌خواند. این با عنوان "نوشتن مخفی" شناخته می‌شود. حتی اگر پیام رمزگذاری شده در حین انتقال قابل محافظت باشد، پس از رمزگشایی پیام، دیگر از آن محافظت نمی‌شود و این مهم‌ترین نقص روش‌های رمزنگاری در مقایسه با نهان‌نگاری است [۴].

بر اساس این جوانب مثبت و منفی، می‌توان نتیجه گرفت که نهان‌نگاری برای حفظ امنیت تصویر دیجیتالی بهترین انتخاب است. علاوه بر این، داده‌ها را می‌توان قبل از تعبیه نهان‌نگاری به‌عنوان لایه محافظ دوم، رمزگذاری کرد. شکل (۱) نمای کلی از یک سیستم امنیتی و طبقه‌بندی متفاوت طرح نهان‌نگاری را نشان می‌دهد.



شکل (۱): مروری بر یک سیستم امنیتی داده [۵]

Figure (1): An overview of a data security system

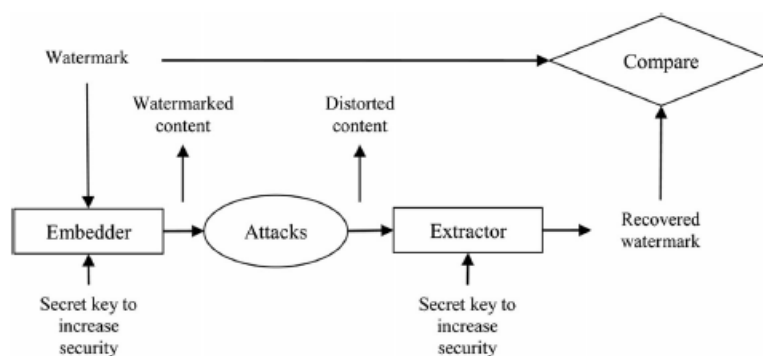
نهان‌نگاری دیجیتال روش جای‌گذاری اطلاعات (نهان‌نگار) در شی میزبان است به‌گونه‌ای که داده‌های نهان‌نگار توسط افراد مجاز برای ادعای اصالت قابل تشخیص است [۶].

سیگنال میزبان می‌تواند یک ویدئو، صدا، تصویر، شبکه سه-بعدی و غیره باشد، درحالی‌که نهان‌نگار می‌تواند یک لوگو (آرم)، تصویر، شماره سریال، شناسه مالک، نام یا هر اطلاعات دیگری باشد که مالکیت سیگنال میزبان را نشان می‌دهد. این امضاها قبل از جای‌گذاری در سیگنال میزبان، به‌طور معمول به یک توالی دودویی (باینری) تبدیل می‌شوند. مراحل زیر روش استاندارد برای نهان‌نگاری است [۷].

هر بخش در ذیل توضیح داده شده و یک سیستم نهان‌نگاری عادی در شکل (۲) نشان داده شده است.

- جای‌گذاری: در این بخش، تصویر اصلی و نهان‌نگار پیشنهادی به سیستم وارد می‌شود و طبق الگوریتم تعبیه، تصویر نهان‌نگاری شده تولید می‌شود.

- توزیع: توانایی دسترس دیگران به تصویر نهان‌نگاری شده. به‌عنوان مثال، می‌تواند به مشتریان فروخته شود یا از طریق اینترنت منتشر شود.
- حملات: اصلاح تصویر نهان‌نگاری شده به‌صورت عمدی یا ناخواسته، توسط شخص ثالث. این مفهوم در بخش بعدی توضیح داده خواهد شد.
- استخراج: فرآیندی برای جداکردن اطلاعات پنهان از تصویر نهان‌نگاری شده است. الگوریتم‌های استخراج را می‌توان به سه بخش غیر کور، نیمه کور و کور تقسیم کرد؛ که عبارتند از:
  - نهان‌نگاری کور: در نهان‌نگاری کور، در نهان‌نگاری کور یا عمومی، فرآیند استخراج بدون هیچ‌گونه اطلاعات جانبی، تصویر اصلی یا نهان‌نگاری اصلی انجام می‌شود و فقط نیازمند تصویر نهان‌نگاری شده است و به تصویر اصلی و هیچ یک از ویژگی‌های آن وابسته نیست. به این نوع از سیستم نهان‌نگاری، نهان‌نگاری کور یا عمومی گفته می‌شود.
  - نهان‌نگاری غیر کور: در نهان‌نگاری غیر کور یا خصوصی، در مراحل استخراج به تصویر اصلی نیاز است. یک کپی از تصویر اصلی به همراه تصویر نهان‌نگاری شده برای استخراج علامت نهان نگار مورد نیاز است. خروجی این نوع سیستم نهان‌نگاری بسته به وجود یا عدم وجود نهان‌نگار در تصویر نهان‌نگاری شده به‌صورت بلی یا خیر است. از این سیستم انتظار می‌رود تا مقاومت بیشتری داشته باشد.
  - نهان‌نگاری نیمه کور: این سیستم نهان‌نگاری همانند سیستم نهان‌نگاری کور بدون اینکه نیاز به تصویر اصلی باشد خروجی می‌دهد. این سیستم در مقایسه با سیستم نهان‌نگاری کور، به یک سری اطلاعات، مانند اندازه تصویر اصلی برای کشف نهان‌نگار نیاز دارد، در واقع نهان‌نگار اصلی یا سایر اطلاعات جانبی برای انجام استخراج در روش‌های نیمه کور لازم است.
- بازیابی: در این بخش، کیفیت تصاویر نهان‌نگاری شده و دقت نهان‌نگاری استخراج شده با اندازه‌گیری تشابه بین نمونه استخراج شده و اصلی ارزیابی می‌شود.



شکل (۲): چارچوب سیستم نهان‌نگاری عادی [۵]  
Figure (2): Normal watermarking system framework

به‌طور کلی، الگوریتم‌های نهان‌نگاری به دو دسته حوزه فضایی و حوزه تبدیل تقسیم می‌شوند [۸]. در حوزه فضایی، اطلاعات نهان‌نگار به‌طور مستقیم در مقدار پیکسل تصویر میزبان یا تصویر پوشش تعبیه می‌شود و برای حفظ کیفیت تصویر، نهان‌نگار معمولاً در کمترین بیت‌های تصویر میزبان تعبیه می‌شود. این روش‌ها سریع و ساده بوده و ظرفیت بالایی را برای جای‌گذاری نهان‌نگار فراهم می‌کنند. مزیت دیگر این تکنیک‌ها این است که یک نهان‌نگار کوچک می‌تواند چندین بار تعبیه شود، بنابراین امکان حذف همه نهان‌نگارها توسط هر نوع حمله بسیار کم است. از این‌رو، حتی یک نهان‌نگاری بازمانده نیز ممکن است نیازها را برآورده کند [۹-۱۱]. مهمترین روش نهان‌نگاری در این حوزه، کم‌اهمیت‌ترین بیت (LSB) نام دارد. تصویر ورودی ابتدا با استفاده از روش LSB دودویی (باینری) می‌شود. سپس، بیت‌های سمت راست هر پیکسل با بیت‌های نهان‌نگاری ورودی جایگزین

می‌شوند. سرانجام، مقادیر پیکسل باینری (دودویی) اصلاح شده به مقادیر پیکسل اعشاری برگردانده می‌شوند [۱۲، ۱۳]. با این حال، رویکردهای حوزه فضایی نمی‌توانند در برابر حملات فشرده‌سازی نویز یا پر اتلاف باقی بمانند. به‌علاوه، هنگامی که روش کشف شد، نهان‌نگاری تعبیه شده به راحتی توسط شخص ثالث قابل اصلاح است.

در نهان‌نگاری حوزه تبدیل، قبل از تعبیه نهان‌نگاری، تبدیل‌هایی مانند تبدیل فوریه گسسته<sup>۲</sup> (DFT) [۱۴، ۱۵]، تبدیل کسینوس گسسته<sup>۳</sup> (DCT) [۱۶]، تبدیل موجک گسسته<sup>۴</sup> (DWT) [۱۷-۱۹]، تبدیل موجک پیچیده درخت دوتایی<sup>۵</sup> (DTCWT) [۲۰]، کانتورلت<sup>۶</sup> (CT) [۵]، یا تجزیه مقدار تکین<sup>۷</sup> (SVD) [۲۱، ۲۲] بر روی تصویر میزبان برای تولید ضرایب حوزه تبدیل اعمال می‌شود. تصویر نهان‌نگاری شده با اصلاح این ضرایب تبدیل به دست می‌آید.

در این مقاله در حوزه سیستم امنیت داده‌ها به بررسی یک روش جدید نهان‌نگاری مقاوم و نیمه‌کور تصاویر دیجیتال بر اساس تابع تبدیل موجک گسسته و تجزیه مقادیر تکین پرداخته‌ایم. یکی از مشکلات رایج در نهان‌نگاری تصاویر دیجیتال مقاوم بودن نهان‌نگاری نسبت به انواع حملات پردازش سیگنال همچون نویز گوسی، نویز فلفل نمک و انواع حملات اعوجاجات هندسی همچون برش، مقیاس‌گذاری و چرخش است. همچنین از دیگر مواردی که در نهان‌نگاری می‌توان به آن اشاره کرد عدم استفاده و یا استفاده‌ی حداقلی از تصویر میزبان و تصویر نهان‌نگار در هنگام استخراج نهان‌نگار است. ما در این مقاله از دو مرحله تبدیل موجک هار روی تصویر میزبان و یک سطح تجزیه‌ی مقدار منفرد روی زیر گروه فرکانس پایین آن و ترکیب با ضریبی از نهان‌نگار و یک سطح دیگر تجزیه‌ی مقدار منفرد جهت جای‌گذاری نهان‌نگار و افزایش مقاومت نهان‌نگاری استفاده کرده‌ایم به‌صورتی که در زمان استخراج نهان‌نگار به‌توان به‌صورت نیمه‌کور عمل کرد. با این روش توانسته‌ایم به‌طور متوسط به نسبت حداکثر سیگنال به نویز ۵۵ و ۷ درصد بهبود جهت غیر قابل مشاهده بودن نهان‌نگار و همچنین به‌طور متوسط به ضریب همبستگی ۰/۹۷ و ۳۴ درصد بهبود جهت افزایش مقاومت نهان‌نگاری نسبت به حملات مختلف برسیم.

بخش‌های ارائه شده در این مقاله شامل بخش ۲ تعاریف مفاهیم اولیه مورد نیاز، بخش ۳ طرح مسئله، بخش ۴ راه حل پیشنهادی و بخش ۵ نتیجه‌گیری است.

## ۲- تعاریف مفاهیم اولیه مورد نیاز

در این قسمت به‌طور خلاصه به تعاریف اولیه انواع حملات در سیستم نهان‌نگاری، تبدیل موجک گسسته و شاخص‌های ارزیابی نهان‌نگاری اشاره می‌شود.

### ۲-۱- انواع حملات در سیستم نهان‌نگاری

در روش‌های نهان‌نگاری تصویر، توجه اصلی ارزیابی نیرومندی و اثربخشی روش نهان‌نگاری از طریق اندازه‌گیری تأثیر حملات مختلف بر روی تصویر نهان‌نگاری شده است. بر اساس روش نهان‌نگاری استفاده شده، تصویر ممکن است در برابر گروه خاصی از حملات مقاوم باشد. به‌عنوان مثال، به‌منظور افزایش مقاومت در برابر حملات هندسی، روش‌های مبتنی بر فوریه ممکن است یک راه‌حل خوب باشد. این بخش یک دید کلی در مورد گروه‌های مختلف حمله دارد که ممکن است توسط مهاجمین برای حذف نهان‌نگاری از تصویر نهان‌نگاری شده استفاده شود [۱۵]. این حملات، عمدی یا غیرعمدی می‌توانند در دو دسته اصلی حملات پردازش سیگنال و حملات اعوجاج هندسی طبقه‌بندی شوند [۱۱]. چند مثال برای هر دسته در جدول (۱) مشخص شده است. بررسی ادبیات ارزشمندی از ابزارهای مختلف، حملات و معیارهای نهان‌نگاری را می‌توان در مراجع یافت. مطابق این بررسی، حملات به تصاویر نهان‌نگاری شده به چهار گروه اصلی تقسیم می‌شوند: حملات ساده، حملات غیر قابل شناسایی، حملات مشکوک و حملات حذفی، همان‌طور که در جدول (۲) آورده شده است. انواع دیگر حملات تصویر نهان‌نگاری شده، حملات رمزنگاری و پروتکلی هستند [۱۶].

### ۲-۲- تبدیل موجک گسسته

تبدیل موجک یک ابزار ریاضی قدرتمند است که در بسیاری از زمینه‌های مختلف کاربردی مورد استفاده قرار گرفته است.

Table (1): The first category for watermarking attacks

جدول (۱): طبقه‌بندی اول برای حملات نهان‌نگاری

مثال‌ها	طبقه‌بندی اصلی
فشرده‌سازی (مانند JPEG) دست‌کاری رنگ (شدت، اصلاح گاما، تنظیمات جزئی) نویز (افزودن نویز، رفع نویز، جایگزینی صفحات بیتی) فیلترکردن (پاس بالا، پاس کم، گوسی و شفاف‌سازی) پایش میانگین‌گیری	حملات پردازش سیگنال
چرخش مقیاس‌گذاری تفسیر حذف ستون / ردیف برش	اعوجاجات هندسی (حمله همگام‌سازی)

Table (2): The second category for watermarking attacks

جدول (۲): طبقه‌بندی دوم برای حملات نهان‌نگاری

مثال‌ها	طبقه‌بندی اصلی
فشرده‌سازی مبتنی بر فرکانس افزودن نویز برش اصلاح	حملات ساده
اعوجاج هندسی مانند: بزرگ‌نمایی جهت‌جابه‌جایی چرخش برش جایگزینی، حذف، درج پیکسل	حملات غیر قابل‌شناسایی
چندین نهان‌نگاری درج شده و نمی‌توانند سفارشات آن‌ها را تشخیص دهند	حملات مشکوک
حمله تبانی رفع نویز	حملات حذفی

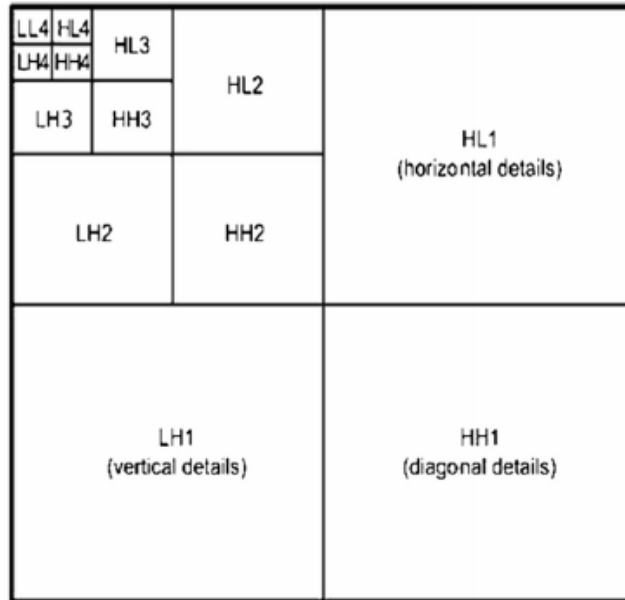
قابلیت‌های چند مقیاسی تبدیل موجک که ویژگی‌های محلی و کلی سیگنال را برجسته می‌کند، آن را به ابزاری کارآمد در پردازش تصویر و به‌ویژه در کاربردهای نهان‌نگاری تبدیل می‌کند. تبدیل موجک تصویر را به چهار زیر باند فرکانسی مختلف تجزیه می‌کند که عبارتند از: جزئیات تصویر تقریبی (LLk)، افقی (HLk)، عمودی (LHk) و مورب (HHk) که k نشان‌دهنده سطح تجزیه است. این فرایند می‌تواند به‌طور مکرر در بخش تقریبی (LL1) اعمال شود تا بر اساس درخواست کاربر به مقیاس نهایی برسد [۱۸،۲۰].

در کاربردهای نهان‌نگاری، سطح پایین‌تر تجزیه در برابر تغییر تصویر آسیب‌پذیرتر است زیرا نسبت انرژی کمتری در مقایسه با سطوح تجزیه بالاتر دارند. این انرژی به این صورت تعریف می‌شود:

$$E_k = \frac{1}{N_k M_k} \sum_i \sum_j |I_k(i, j)| \quad (1)$$

که در آن k سطح تجزیه است،  $I_k$  ضرایب زیر باند مربوطه را نشان می‌دهد و  $N_k$  و  $M_k$  ابعاد زیر باند هستند. با مقایسه انرژی زیر باندها در سطح یک‌سان، به‌طور مثال  $(LL_3, HL_3, LH_3, HH_3)$ ، مشاهده می‌شود که انباشت انرژی در جزئیات افقی (HLk) به‌طور قابل‌توجهی بیشتر از جزئیات عمودی و مورب است، از این رو پیشنهاد می‌شود که این زیر باند نسبت به اصلاح تصویر

مقاومت بیشتری دارد. به عبارت دیگر، حتی اگر تصویر تقریبی بالاترین بخش انرژی تصویر اصلی را داشته باشد، تعبیه نهان‌نگاری در این بخش کیفیت تصویر را کاهش می‌دهد؛ بنابراین، زیر باند افقی در هر سطح می‌تواند به‌عنوان بهترین منطقه کاندیدا برای تعبیه نهان‌نگاری انتخاب شود تا به حفظ کیفیت تصویر دست یابد و به‌طور هم‌زمان نیرومندی را ارائه دهد.



شکل (۳): تجزیه موجک یک تصویر [۲۲]

Figure (3): Wavelet analysis of an image

### ۳-۲- تجزیه مقدار تکین

مفهوم تجزیه مقدار تکین یا SVD به قضیه جبر خطی برمی‌گردد. این نشان می‌دهد که یک ماتریس مستطیلی را می‌توان به سه ماتریس  $U$ ،  $S$  و  $V$  تجزیه کرد (با ورودی‌های حقیقی غیر منفی) و ترانهاده مزدوج  $U$  و  $V$  ماتریس‌های مربعی متعامد هستند و  $S$  یک ماتریس قطری مستطیلی است که مقادیر آن به ترتیب نزولی مرتب شده‌اند. نمایش ریاضی ماتریس مربعی  $A$  به ترتیب  $N$  پس از تبدیل SVD به شرح زیر آورده شده است:

$$A = USV^T = [u_1 \ u_2 \ \dots \ u_N] \begin{bmatrix} \delta_1 & & & \\ & \ddots & & \\ & & \delta_2 & \\ & & & \ddots \\ & & & & \delta_N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_1 \\ \vdots \\ v_N \end{bmatrix} \quad (2)$$

که در آن  $U \in \mathbb{R}^{N \times N}$  و  $V \in \mathbb{R}^{N \times N}$  ماتریس‌های واحدی هستند، به عبارت دیگر  $UU^T = I_n$  و  $VV^T = I_n$ . ستون‌های ماتریس  $U$  و  $V$  به ترتیب بردارهای تکین چپ و راست ماتریس  $A$  می‌نامند. همان‌طور که قبلاً ذکر شد،  $S \in \mathbb{R}^{N \times N}$  ماتریسی قطری است  $(S = \text{diag}(\delta_1, \dots, \delta_N))$  با مقادیر تکین  $\delta_i (i = 1, 2, \dots, N)$ . از عملوند  $T$  برای عمل ترانهاده مزدوج استفاده می‌شود. برای ماتریس  $A$  از نظم  $r (r \leq N)$  اگر ورودی‌های قطری ماتریس  $S$  ترتیب نزولی خود را به‌صورت  $\delta_1 \geq \delta_2 \geq \dots \geq \delta_r \geq \delta_{r+1} = \delta_{r+2} = \dots = \delta_N = 0$  حفظ کنند، سپس ماتریس  $A$  را می‌توان به‌صورت زیر نوشت:

$$A = \sum_{i=1}^r \delta_i u_i v_i^T \quad (3)$$

که در آن  $u_i$  و  $v_i$  امین بردار ویژه  $U$  و  $V$  و  $\delta_i$  امین مقدار تکین است.

### ۳-۴- معرفی معیارهای ارزیابی نهان‌نگاری

در نهان‌نگاری تصاویر دیجیتال برای ارزیابی تصویر نهان‌نگاری شده، دو گروه از معیارها مورد نیاز است. مورد اول ارزیابی کیفیت تصویر نهان‌نگاری شده و دوم اندازه‌گیری صحت نهان‌نگاری استخراج شده است. ارزیابی غیرقابل مشاهده بودن تصویر نهان‌نگاری شده: با تعبیه نهان‌نگاری درون تصویر پوشش، برخی از اوجاج‌ها در تصویر رخ می‌دهد. در بخش بعدی، چندین معیار

مهم اعوجاج تصاویر نهان‌نگاری شده که در ادبیات مختلف استفاده می‌شوند، توضیح داده شده است [۱۶،۱۰]. در این معادلات،  $I(I,j)$  تصویر اصلی را نشان می‌دهد،  $I_w$  تصویر نهان‌نگاری شده است و ابعاد تصویر را با  $N \times M$  نشان می‌دهد. نسبت سیگنال حداکثر به نویز  $^{(PSNR)}$ : نسبت سیگنال حداکثر به نویز بین تصویر اصلی و نهان‌نگاری شده توسط معادله (۴) مشخص می‌شود:

$$PSNR(I, I_w) = 10 \times \log_{10} \frac{(MAX_I)^2}{MSE} \quad (4)$$

که در آن  $MAX_I$  حداکثر مقدار پیکسل محتمل در تصویر اصلی  $I$  است.  $PSNR$  بزرگ‌تر به این معنی است که تصویر اصلی و نهان‌نگاری شده بیشتر شبیه به یکدیگر است. برای داشتن مقدار دریافتی قابل قبول،  $PSNR$  باید بیشتر از ۳۰ دسی‌بل باشد. ضریب همبستگی  $^9$  (CRC): ضریب همبستگی می‌تواند برای اندازه‌گیری سازگاری بین نهان‌نگاری اصلی و استخراج شده استفاده شود. حداقل و حداکثر مقادیر این ماتریس به ترتیب ۰ و ۱ است [۱۱].

$$CRC = \frac{\sum_i \sum_j W(i,j)W'(i,j)}{\sqrt{\sum_i \sum_j W(i,j)^2 + \sum_i \sum_j W'(i,j)^2}} \quad (5)$$

### ۳- طرح مسئله

حفظ امنیت و اصالت تصاویر پزشکی از زمان توزیع روزافزون تصاویر پزشکی دیجیتال بین مراکز بالینی و بیمارستان‌ها به یک ضرورت تبدیل شده است. این امر از طریق استفاده گسترده از پزشکی از راه دور، رادیولوژی از راه دور، تشخیص از راه دور و مشاوره از راه دور نمایان می‌شود. طی سال‌های گذشته، الگوریتم‌های مختلف نهان‌نگاری پزشکی توسط تعدادی از محققان مختلف در این زمینه ارائه شده است، اما هر روش پیشنهادی دارای تعدادی از نقایص و همچنین نقاط قوتی است [۴]. در حوزه فضایی، اطلاعات نهان‌نگاری به‌طور مستقیم در مقدار پیکسل تصویر میزبان یا پوشش تعبیه شده است. این روش‌ها سریع و ساده بوده و همچنین ظرفیت بالایی را برای جایگذاری (تعبیه) نهان‌نگار فراهم می‌کنند. روش‌های حوزه فضایی ممکن است دارای مزایایی باشند و ممکن است بر حملات برشی غلبه کنند، اما اشکال اصلی آن‌ها نقاط ضعف آن‌ها در برابر حملات فشرده‌سازی نویز یا پراتلاف است. علاوه بر این، با کشف روش، نهان‌نگاری جایگذاری شده به راحتی توسط شخص ثالث قابل اصلاح هستند [۲۳-۲۵].

نهان‌نگاری زمینه‌های کاربردی فراوانی دارد، یکی از مهم‌ترین کاربردهای آن در حفاظت از تصاویر دیجیتال پزشکی، حک کردن اسم‌ها، امضاها و مشخصات بیماران بر روی تصاویر، ویدئوها و غیره است به طوری که مشخص نخواهد بود. در این صورت هرگونه استفاده غیرمجاز از رسانه دیجیتالی نهان‌نگاری شده، مانند کپی غیرمجاز از آن و یا هرگونه تحریف و تغییر تصویر توسط افراد غیرمجاز محدود می‌شود. از میان مشکلات مطرح شده در بالا مشکل حفظ امنیت اطلاعات نهان‌نگاری شده از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. یکی دیگر از مشکلات موجود در نهان‌نگاری تصاویر دیجیتال با توجه به افزایش روزافزون کیفیت و حجم تصاویر دیجیتال، ظرفیت پایین روش‌های ارائه شده است. از دیگر مشکلات روش‌های نهان‌نگاری تصاویر دیجیتال بازگردانی اطلاعات نهان‌نگاری شده به صورت صحیح و بدون نیاز یا با کمترین اطلاعات از تصویر میزبان و نهان‌نگار است.

### ۴- راه‌حل پیشنهادی

در روش پیشنهادی حاضر از نرم‌افزار متلب نسخه ۲۰۱۷ (MATLAB R2017b) به‌عنوان شبیه‌ساز استفاده کرده‌ایم. در روش حاضر از ۱۰ پایگاه داده‌ی تصاویر دیجیتال باکیفیت به‌عنوان تصاویر میزبان با اندازه ۲۵۶ در ۲۵۶ استفاده شده است. در این روش همه‌ی تصاویر را ابتدا به حالت خاکستری تبدیل کرده و سپس تصویر خاکستری شده‌ی میزبان را در دو سطح تبدیل موجک گسسته تجزیه کرده‌ایم و یک سطح تجزیه مقادیر منفرد روی زیرگروه فرکانس پایین به دست آمده که تقریبی از تصویر میزبان است، اعمال کرده‌ایم. همچنین از تصویر اثرانگشت با اندازه ۶۴ در ۶۴ به‌عنوان تصویر نهان‌نگار نیز استفاده کرده‌ایم و تصویر نهان‌نگار را در بردار اصلی SVD گرفته‌شده از تصویر میزبان جایگذاری کرده‌ایم.



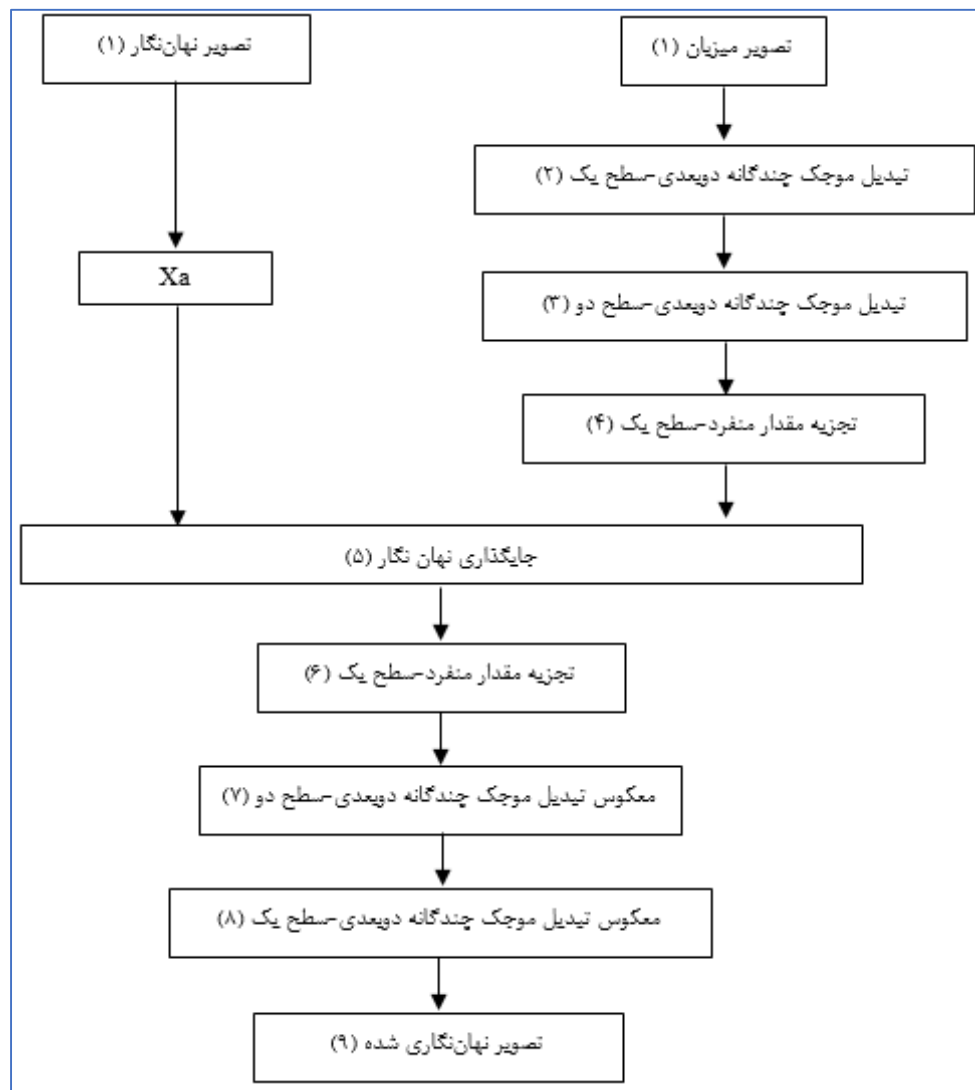
#### ۴-۱- کلیات روش

در شکل (۴) نمای کلی از درج نهان‌نگار در روش پیشنهادی و به دنبال آن در شکل (۵) فرآیند استخراج نهان‌نگار را مشاهده می‌کنید. در این سیستم ما از یک مجموعه تصاویر باکیفیت به‌عنوان تصویر میزبان استفاده کرده‌ایم. نهان‌نگار مورد استفاده تصویر اثر انگشت است.

#### ۴-۲- فرآیند جایگذاری نهان‌نگار

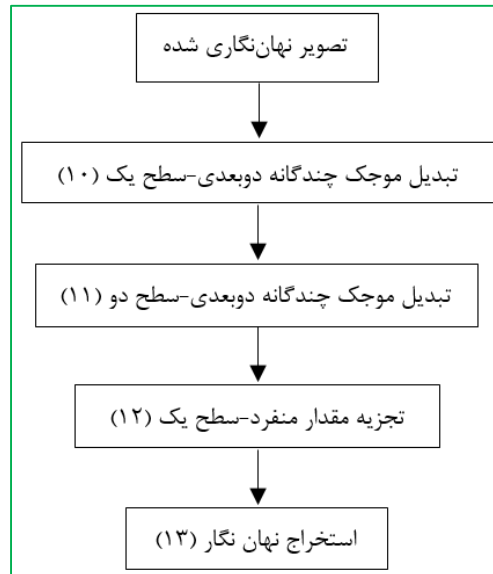
در این فرایند اطلاعات مورد نظر با توجه به ظرفیت تصویر میزبان در حوزه موجک گسسته جایگذاری می‌شود به طوری که علاوه بر حفظ کیفیت سیگنال میزبان و بالا بودن نسبت سیگنال به نویز، اطلاعات به‌صورت مقاوم قابل استخراج باشد. الف- انتخاب پایگاه داده جهت تصاویر میزبان و نهان‌نگار: جهت بررسی روش پیشنهادی از نظر مقاومت، غیرقابل مشاهده بودن، ظرفیت نهان‌نگار از ۱۰ پایگاه داده‌ی تصویر متفاوت از لحاظ ساختاری و باکیفیت بالا که هرکدام شامل ۱۰ تصویر از همان دسته‌بندی است استفاده شده است. دسته‌بندی پایگاه داده تصاویر استفاده شده در این مقاله به شرح زیر است:

- مجموعه تصاویر باکیفیت از تصاویر X-Ray شکل (۶)
- مجموعه تصاویر باکیفیت از تصاویر حیوانات شکل (۷)



شکل (۴): فرآیند درج نهان‌نگار در سیستم مورد استفاده

Figure (4): The process of embedding a watermark in the system used



شکل (۵): فرآیند استخراج نهان‌نگار

Figure (5): The process of extracting a watermark

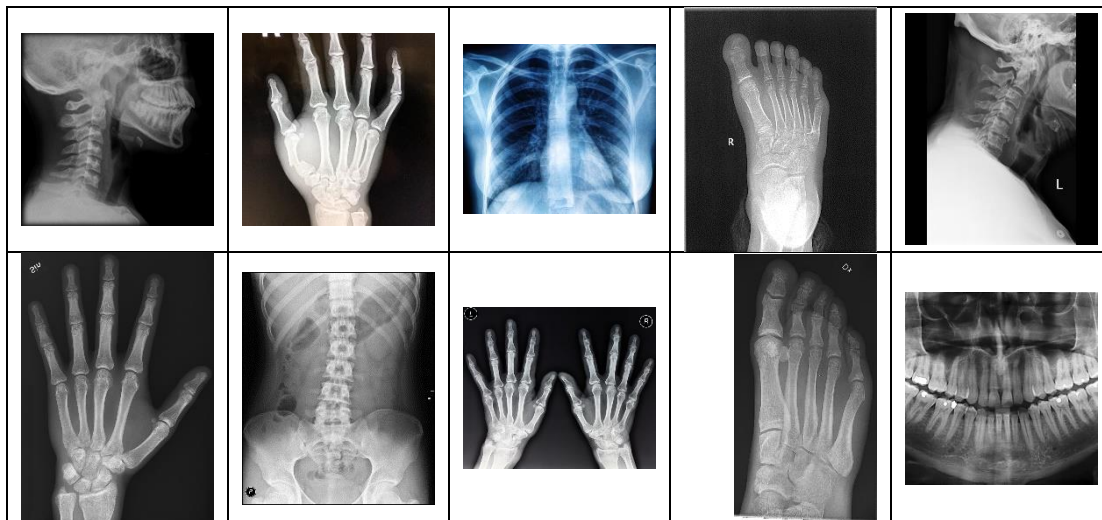
- مجموعه تصاویر باکیفیت از تصاویر سواحل شکل (۸)
- مجموعه تصاویر باکیفیت از تصاویر ماشین‌ها شکل (۹)
- مجموعه تصاویر باکیفیت از تصاویر ابرها شکل (۱۰)
- مجموعه تصاویر باکیفیت از تصاویر چهره‌ها شکل (۱۱)
- مجموعه تصاویر باکیفیت از تصاویر گل‌ها شکل (۱۲)
- مجموعه تصاویر باکیفیت از تصاویر میوه‌ها شکل (۱۳)
- مجموعه تصاویر باکیفیت از تصاویر طبیعت شکل (۱۴)
- مجموعه تصاویر باکیفیت از تصاویر دریاها شکل (۱۵)

تصویر نهان نگار استفاده شده در روش پیشنهادی شکل (۱۶) یک تصویر اثر انگشت است.

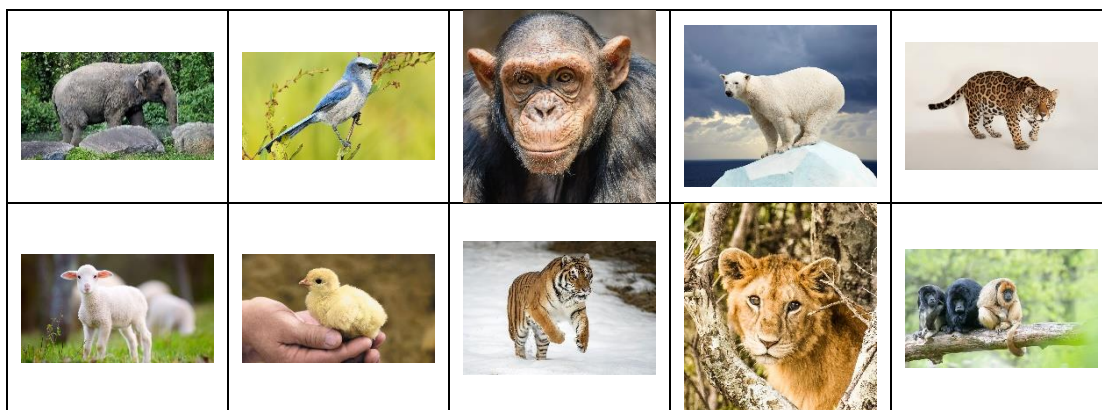
ب- تبدیل موجک چندگانه دوبعدی سطح یک: در این مرحله از موجک چندگانه Haar استفاده شده است. نتیجه حاصل از تجزیه تصویر خاکستری دست با اندازه  $256 \times 256$  در شکل (۱۷) قابل مشاهده است. شکل (۱۷) شامل چهار تصویر حاصل از یک سطح DWT روی تصویر x-ray دست است. به ترتیب تصویر سمت چپ - بالا شامل تقریب تصویر یا زیرگروه فرکانس پایین تصویر x-ray دست، تصویر سمت چپ - پایین شامل زیرگروه افقی تصویر x-ray دست، تصویر سمت راست - بالا شامل زیرگروه عمودی تصویر x-ray دست و تصویر سمت راست - پایین شامل زیرگروه مورب تصویر x-ray دست است.

ج- تبدیل موجک چندگانه دوبعدی سطح دو: جهت افزایش مقاومت نهان‌نگاری در برابر حملات مختلف از یک مرحله‌ی دیگر تبدیل موجک چندگانه استفاده کرده‌ایم، همچنین در این مرحله نیز از موجک چندگانه Haar استفاده کرده‌ایم. نتیجه حاصل از تجزیه تصویر خاکستری دست با اندازه  $256 \times 256$  در شکل (۱۸) قابل مشاهده است.

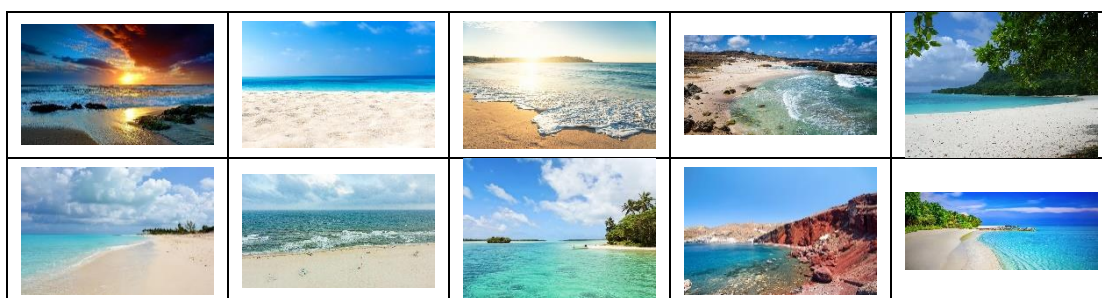
شکل (۱۸) شامل چهار تصویر حاصل از دو سطح DWT روی تصویر x-ray دست است. به ترتیب تصویر سمت چپ- بالا شامل ۴ زیرگروه سطح دوم DWT گرفته شده از تصویر x-ray دست، تصویر سمت چپ- پایین شامل زیرگروه افقی تصویر x-ray دست در سطح اول DWT، تصویر سمت راست- بالا شامل زیرگروه عمودی تصویر x-ray دست در سطح اول DWT و تصویر سمت راست- پایین شامل زیرگروه مورب تصویر x-ray دست در سطح اول DWT است.



شکل (۶): مجموعه تصاویر باکیفیت از تصاویر X-Ray  
 Figure (6): Collection of quality images from X-ray images



شکل (۷): مجموعه تصاویر باکیفیت از تصاویر حیوانات  
 Figure (7): A collection of quality images of animal images



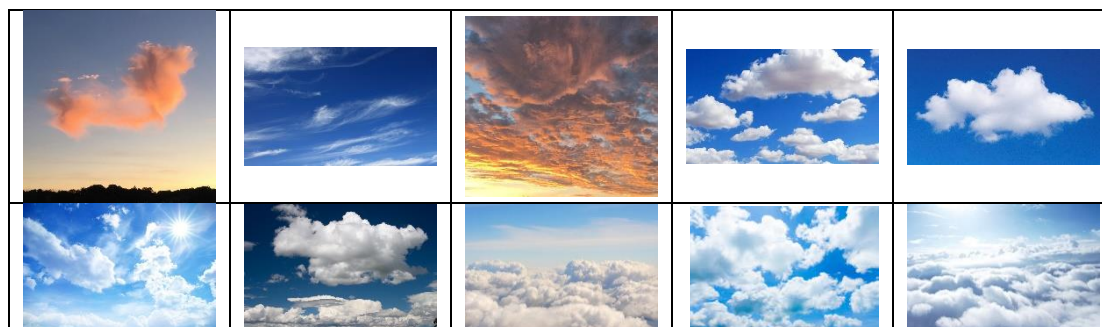
شکل (۸): مجموعه تصاویر باکیفیت از سواحل  
 Figure (8): Collection of quality images of beaches

د- تجزیه مقدار منفرد سطح یک: در واقع برای افزایش مقاومت تصویر نهان نگار نسبت به انواع مختلف حملات به جای این که تصویر نهان نگار را مستقیماً در زیرگروه فرکانس پایین تبدیل موجک تصویر میزبان قرار دهیم، آن را در ضرایب سطح یک SVD زیرگروه LL2 تصویر میزبان قرار داده ایم.

ه- جایگذاری نهان نگار: در این مرحله پس از انتخاب محل نهان نگار، ضریبی از نهان نگار را با ضرایب اصلی SVD گرفته شده از زیرگروه LL2 تصویر میزبان جمع کرده ایم.



شکل (۹): مجموعه تصاویر باکیفیت از تصاویر ماشین‌ها  
Figure (9): Collection of quality images of car images

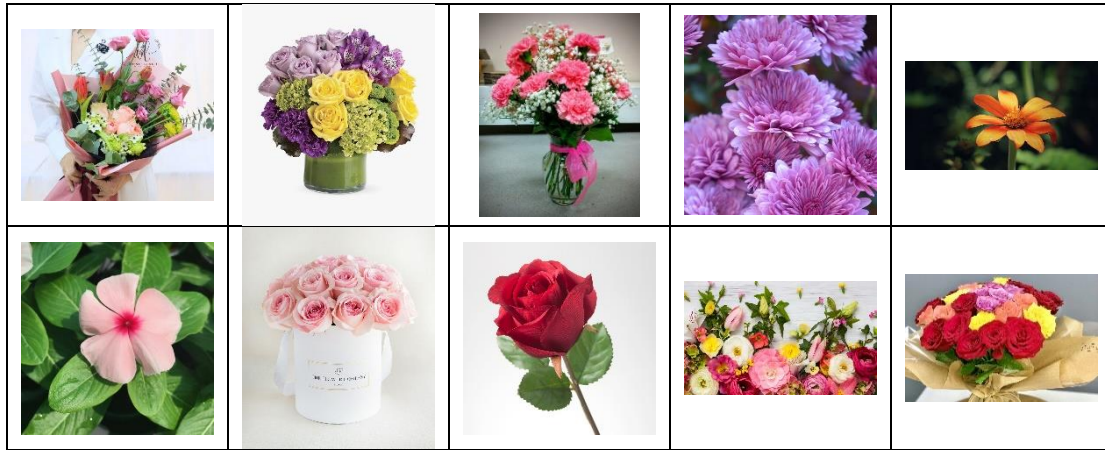


شکل (۱۰): مجموعه تصاویر باکیفیت از تصاویر ابرها  
Figure (10): Collection of quality images from cloud images

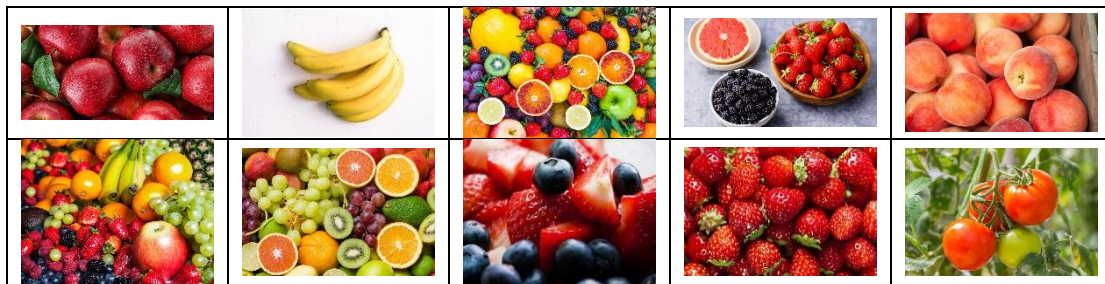


شکل (۱۱): مجموعه تصاویر باکیفیت از تصاویر چهره‌ها  
Figure (11): Collection of quality images of face images

- و- تجزیه‌ی مقدار منفرد سطح یک از ترکیب نهان نگار و تصویر میزبان: جهت افزایش مقاومت نهان نگار در برابر حملات مختلف یک سطح SVD بر ترکیب به‌دست آمده اعمال کرده‌ایم.
- ز- معکوس تبدیل موجک چندگانه دوبعدی سطح یک: با استفاده از بردارهای چپ و راست SVD گرفته‌شده و بردار اصلی SVD گرفته‌شده زیرگروه LL2 جدید را محاسبه کرده‌ایم و همراه با HH2، HL2 و LH2 معکوس تبدیل موجک چندگانه دوبعدی را محاسبه شده و LL جدید به‌دست آمده است.
- ح- معکوس تبدیل موجک چندگانه دوبعدی سطح دو: با استفاده از زیرگروه فرکانس پایین جدید به‌دست آمده (LL) در مرحله‌ی قبل و زیرگروه‌های HH، HL و LH معکوس تبدیل موجک چندگانه دوبعدی را محاسبه کرده‌ایم.
- ط- تصویر نهان‌نگاری شده: پس از ۲ سطح معکوس DWT گرفته‌شده در نهایت تصویر نهان‌نگاری شده را ایجاد کرده‌ایم.



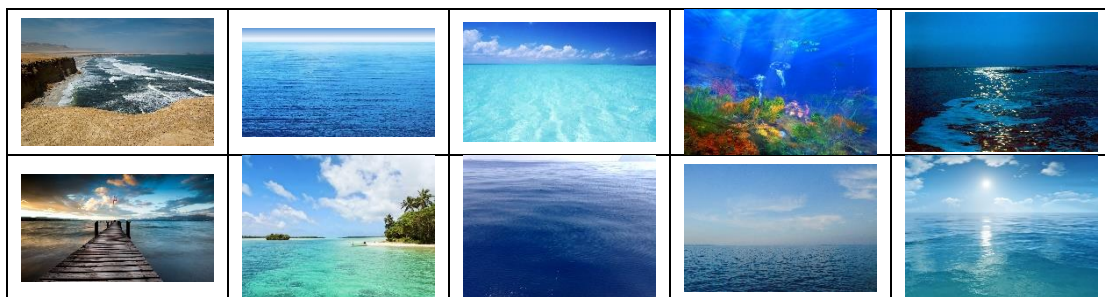
شکل (۱۲): مجموعه تصاویر با کیفیت از تصاویر گل‌ها  
Figure (12): Collection of quality images of flower images



شکل (۱۳): مجموعه تصاویر با کیفیت از تصاویر میوه‌ها  
Figure (13): Collection of quality images from images of fruits



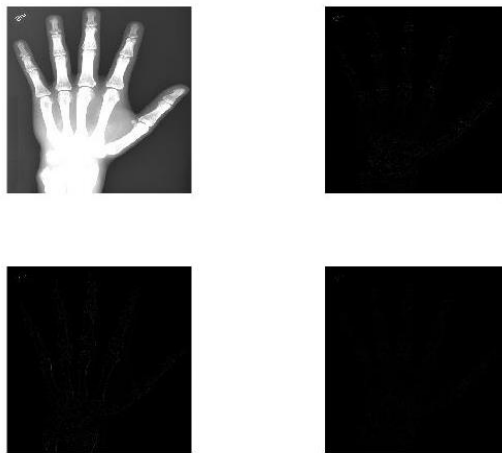
شکل (۱۴): مجموعه تصاویر با کیفیت از تصاویر طبیعت  
Figure (14): A collection of quality images from nature images



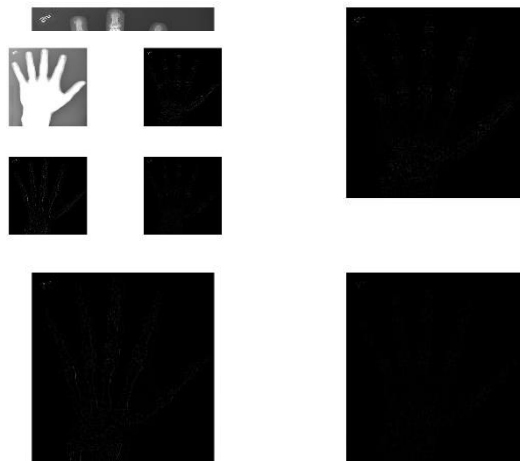
شکل (۱۵): مجموعه تصاویر با کیفیت از تصاویر دریاها  
Figure (15): Collection of quality images from images of the seas



شکل (۱۶): تصویر اثر انگشت به‌عنوان نهار نگار  
Figure (16): Fingerprint image as watermark



شکل (۱۷): تصویر تبدیل یافته اشعه ایکس دست در یک سطح با تبدیل موجک چندگانه Haar  
Figure (17): X-ray transformed image of a hand on a surface with multiple Haar wavelet transform



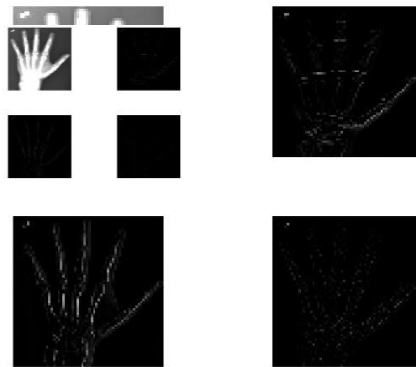
شکل (۱۸): تصویر تبدیل یافته اشعه ایکس دست در دو سطح با تبدیل موجک چندگانه Haar  
Figure (18): X-ray transformed image in two levels with multiple Haar wavelet transform

#### ۳-۴- فرآیند استخراج نهار نگار

در فرایند استخراج دقیقاً عکس عملیات جاسازی اطلاعات را انجام می‌شود و تصویر حاوی اطلاعات به حوزه موجک انتقال داده می‌شود تا اطلاعات جاسازی شده به‌صورت مقاوم آشکارسازی و استخراج شود.

الف- تبدیل موجک چندگانه دوبعدی سطح یک: ابتدا بر تصویر نهان‌نگاری شده یک سطح تبدیل موجک چندگانه دوبعدی از نوع haar زده‌ایم. نتیجه‌ی آن چهار زیرگروه LLw، HLw، LHw و LLw شده است. با توجه به این‌که در زیرگروه فرکانس پایین DWT گرفته شده تقریباً تصویر وجود دارد و مطابق با الگوریتم جایگذاری که نهان‌نگار را در زیرگروه LL جایگذاری کرده‌ایم، پس باید یک سطح دیگر DWT استفاده کنیم.

ب- تبدیل موجک چندگانه دوبعدی سطح دو: مطابق با شکل (۱۹) روی زیرگروه LLw به دست آمده در مرحله‌ی قبل یک سطح دیگر DWT زده‌ایم و LLw2 را محاسبه کرده‌ایم. شکل (۱۹) شامل چهار تصویر حاصل از دو سطح DWT روی تصویر نهان‌نگاری شده‌ی x-ray دست است. به ترتیب تصویر سمت چپ- بالا شامل ۴ زیرگروه سطح دوم DWT گرفته شده از تصویر نهان‌نگاری شده‌ی x-ray دست، تصویر سمت چپ- پایین شامل زیرگروه افقی تصویر نهان‌نگاری شده‌ی x-ray دست در سطح اول DWT، تصویر سمت راست- بالا شامل زیرگروه عمودی تصویر نهان‌نگاری شده‌ی x-ray دست در سطح اول DWT و تصویر سمت راست- پایین شامل زیرگروه مورب تصویر نهان‌نگاری شده‌ی x-ray دست در سطح اول DWT است.



شکل (۱۹): تصویر تبدیل یافته تصویر نهان‌نگاری شده دست در دو سطح با تبدیل موجک چندگانه Haar

Figure (19): Transformed image Hand-cranked image in two levels with multiple Haar wavelet transform

ج- تجزیه مقدار منفرد سطح یک: در این مرحله از فرآیند استخراج نهان‌نگار یک سطح SVD روی زیرگروه فرکانس پایین تبدیل موجک گسسته سطح دوم به دست آمده از مرحله‌ی قبل (LLw2) زده‌ایم و Siw1l را به دست آورده‌ایم.

د- استخراج نهان‌نگار: جهت استخراج نهان‌نگار با استفاده از Siw1l و بردارهای چپ و راست SVD گرفته شده و ضریب نهان‌نگار  $(\alpha)$ ، نهان‌نگار را استخراج کرده‌ایم. برای به حداقل رساندن تأثیر مقادیر منفی ظاهر شده در تصویر نهان‌نگار به دلیل اثر SVD، از تابع متوسط داده شده در رابطه‌ی (۶)، استفاده شده است:

$$w(i, j) = \frac{w(i, j - 1) + w(i, j + 1)}{2} \quad (6)$$

که در آن  $i$  و  $j$  مقادیر شاخص شدت پیکسل تصویر نهان‌نگار است.

#### ۴-۴- نتایج شبیه‌سازی

با توجه به فرآیند جایگذاری و استخراج نهان‌نگار که در بخش قبل ذکر شد، نوآوری مقاله در این روش استفاده از ۲ سطح DWT به جای ۳ سطح DWT است. با این کار ظرفیت نهان‌نگار افزایش یافته است و به جای جایگذاری نهان‌نگار در ۴ زیرگروه HH، HL، LH و LL آن را فقط در زیرگروه LL جایگذاری شده که با این عمل پیچیدگی محاسبات کاهش داده شده است. همچنین جهت افزایش مقاومت نهان‌نگار نسبت به انواع حملات از یک سطح SVD پس از ترکیب نهان‌نگار و تصویر میزبان استفاده کرده‌ایم. روش پیشنهادی را در ۱۰ پایگاه داده تصاویر دیجیتال میزبان با اندازه ۲۵۶ در ۲۵۶ و تصویر نهان‌نگار اثر انگشت با اندازه ۶۴ در ۶۴ اعمال کرده‌ایم. سپس PSNR را بین تصویر نهان‌نگاری شده و تصویر میزبان و ضریب همبستگی را بین اطلاعات اصلی و اطلاعات استخراج شده را بررسی و نتایج آن را در جدول (۳) و جدول (۴) ثبت کرده‌ایم.

در جدول (۵) بررسی PSNR حاصل از اعمال روش پیشنهادی با ضرایب نهان‌نگار متفاوت آمده است. در جدول (۶) همان‌طور که مشاهده می‌شود مقدار PSNR در ۵ پایگاه داده تصاویر اول که به ترتیب شامل پایگاه داده تصاویر x-ray، حیوانات، سواحل، ماشین‌ها و ابرها است، بین روش پیشنهادی و روش مقاله‌ی مرجع [۱] محاسبه شده است. نتایج حاصل نشان می‌دهد که PSNR در پایگاه داده تصاویر اول به‌طور میانگین ۸ درصد، در پایگاه داده تصاویر دوم به‌طور میانگین ۶ درصد، در پایگاه داده تصاویر سوم به‌طور میانگین ۶ درصد، در پایگاه داده تصاویر چهارم به‌طور میانگین ۴ درصد و در پایگاه داده تصاویر پنجم به‌طور میانگین ۸ درصد بهبود یافته است.

Table (3): PSNR review of the proposed method in the X-Ray image database

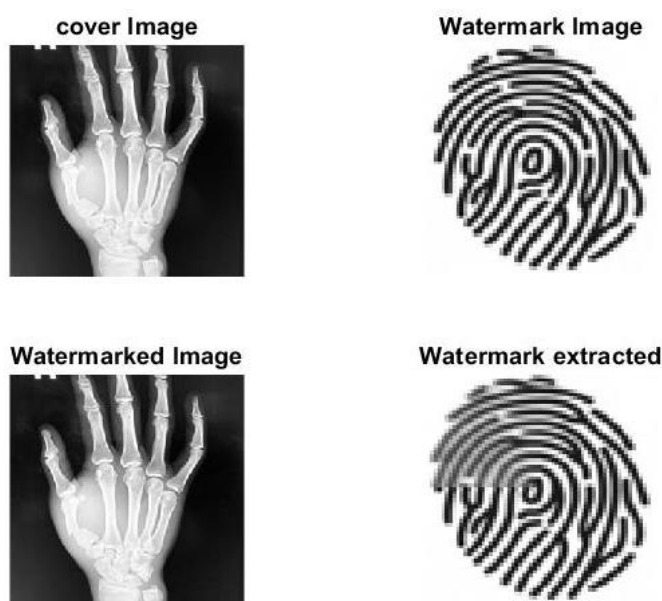
جدول (۳): بررسی PSNR حاصل از اعمال روش پیشنهادی در پایگاه داده تصاویر X-Ray

PSNR 10	PSNR 9	PSNR 8	PSNR 7	PSNR 6	PSNR 5	PSNR 4	PSNR 3	PSNR 2	PSNR 1	شماره تصویر
۵۶	۵۴	۵۶	۵۵	۵۵	۵۴	۵۳	۵۶	۵۶	۵۷	PSNR

Table (4): Investigation of the Correlation Coefficient resulting from the application of the proposed method in the X-Ray image database

جدول (۴): بررسی ضریب همبستگی حاصل از اعمال روش پیشنهادی در پایگاه داده تصاویر X-Ray

CC 10	CC 9	CC 8	CC 7	CC 6	CC 5	CC 4	CC 3	CC 2	CC 1	شماره تصویر
۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۷	CC



شکل (۲۰): تصویر میزبان، تصویر نهان‌نگار، تصویر نهان‌نگاری شده و تصویر نهان‌نگار پس از استخراج مربوط به پایگاه داده تصاویر X-Ray

Figure (20): Host image, watermark image, watermark image and watermark image after extraction related to X-Ray image database

Table (5): Investigation of PSNR obtained by applying the proposed method with different watermarking coefficients

جدول (۵): بررسی PSNR حاصل از اعمال روش پیشنهادی با ضرایب نهان‌نگار متفاوت

Scale factor ( $\alpha$ )	PSNR
۰/۰۱	۷۲/۵۵
۰/۰۳	۶۲/۰۳
۰/۰۵	۵۶/۵۰
۰/۰۷	۵۲/۸۶
۰/۰۹	۵۰/۱۵
۰/۱۱	۴۷/۹۰



Table (6): Comparison of PSNR proposed method with reference article method in 5 databases of first images

جدول (۶): مقایسه‌ی PSNR روش پیشنهادی با روش مقاله مرجع [۱] در ۵ پایگاه داده تصاویر اول

AVR.PSNR Database 5	AVR.PSNR Database 4	AVR.PSNR Database 3	AVR.PSNR Database 2	AVR.PSNR Database 1	نوع روش
۵۰/۸	۵۳/۳	۵۱/۴	۵۲/۷	۵۱/۷	روش مقاله مرجع [۱]
۵۴/۷	۵۵/۶	۵۴/۸	۵۵/۹	۵۵/۱	روش پیشنهادی

دلیل این بهبود T استفاده از یک سطح کمتر DWT روی تصویر میزبان نسبت به روش مقاله‌ی مرجع [۱] و همچنین جایگذاری نهان‌نگار فقط در زیرگروه فرکانس پایین تصویر میزبان است، چراکه در هنگامی که نهان‌نگار در همهی زیرگروه‌های تصویر میزبان پس از اعمال DWT قرار می‌گیرد، این عمل باعث افزایش نویز در تصویر نهان‌نگاری شده گشته است. در جدول (۷) همان‌طور که مشاهده می‌شود مقدار PSNR در ۵ پایگاه داده تصاویر دوم که به ترتیب شامل پایگاه داده تصاویر چهره‌ها، گل‌ها، میوه‌ها، طبیعت و دریاها است، بین روش پیشنهادی و روش مقاله‌ی مرجع [۱] محاسبه شده است. نتایج حاصل نشان می‌دهد که PSNR در پایگاه داده تصاویر ششم به‌طور میانگین ۸ درصد، در پایگاه داده تصاویر هفتم به‌طور میانگین ۴ درصد، در پایگاه داده تصاویر هشتم به‌طور میانگین ۸ درصد، در پایگاه داده تصاویر نهم به‌طور میانگین ۴ درصد و در پایگاه داده تصاویر دهم به‌طور میانگین ۸ درصد بهبود یافته است.

Table (7): Comparison of the proposed PSNR method with the reference article method in 5 second image databases

جدول (۷): مقایسه‌ی PSNR روش پیشنهادی با روش مقاله مرجع [۱] در ۵ پایگاه داده تصاویر دوم

AVR.PSNR Database 10	AVR.PSNR Database 9	AVR.PSNR Database 8	AVR.PSNR Database 7	AVR.PSNR Database 6	نوع روش
۴۹/۷	۵۴/۳	۵۲/۹	۵۳/۰	۵۱/۹	روش مقاله مرجع [۱]
۵۳/۷	۵۶/۱	۵۶/۵	۵۵/۵	۵۵/۱	روش پیشنهادی

با توجه به اعمال ۲ سطح DWT در زیرگروه فرکانس پایین تصویر میزبان و استفاده از ترکیب SVD در روش پیشنهادی، توانسته‌ایم پارامتر PSNR را نسبت به مقاله مرجع [۱] به‌طور متوسط حدوداً ۵ درصد بهبود دهیم و همچنین پارامتر ضریب همبستگی را با اعمال حملات مختلف از نوع پردازش سیگنال و اعوجاج هندسی همچون برش، چرخش، تغییر اندازه، نویز گوسی و نویز لفل نمک، حدوداً ۱۰ تا ۲۶ درصد بهبود دهیم.

## ۵- نتیجه‌گیری

پس از استفاده از روش پیشنهادی به بررسی غیرقابل مشاهده بودن نهان‌نگار در تصویر میزبان با اندازه‌گیری پارامتر نسبت سیگنال به نویز (PSNR) در نتیجه‌ی اعمال ضرایب مختلف پرداخته‌ایم. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهند که با افزایش ضریب مقیاس نهان‌نگار از ۰/۰۱ تا ۰/۱۱ مقدار PSNR از ۷۲/۵۵ تا ۴۷/۹ تغییر کرده است. همچنین PSNR حاصل از اعمال روش پیشنهادی در پایگاه داده تصاویر X-Ray به‌طور میانگین برابر با ۵۵، PSNR حاصل از اعمال روش پیشنهادی در پایگاه داده تصاویر حیوانات به‌طور میانگین برابر با ۵۶، PSNR حاصل از اعمال روش پیشنهادی در پایگاه داده تصاویر ماشین‌ها به‌طور میانگین برابر با ۵۶، PSNR حاصل از اعمال روش پیشنهادی در پایگاه داده تصاویر ابرها به‌طور میانگین برابر با ۵۵، PSNR حاصل از اعمال روش پیشنهادی در پایگاه داده تصاویر چهره‌ها به‌طور میانگین برابر با ۵۵، PSNR حاصل از اعمال روش پیشنهادی در پایگاه داده تصاویر گل‌ها به‌طور میانگین برابر با ۵۶، PSNR حاصل از اعمال روش پیشنهادی در پایگاه داده تصاویر میوه‌ها به‌طور میانگین برابر با ۵۷، PSNR حاصل از اعمال روش پیشنهادی در پایگاه داده تصاویر طبیعت به‌طور میانگین برابر با ۵۶ و PSNR حاصل از اعمال روش

پیشنهادی در پایگاه داده تصاویر دریاها به‌طور میانگین برابر با ۵۴ شده است. با به‌کارگیری روش پیشنهادی توانسته‌ایم به‌طور متوسط حدوداً ۷ درصد در پارامتر غیرقابل مشاهده بودن نهان نگار در تصویر نهان‌نگاری شده بهبود ایجاد کنیم. همچنین مقدار ضریب همبستگی را هنگامی که هیچ حمله‌ای به تصاویر نهان‌نگاری شده اعمال نشده باشد توانسته‌ایم حدوداً ۳۴ درصد در پارامتر مقاومت نهان نگار، هنگامی که حمله‌ی برش به تصاویر نهان‌نگاری شده اعمال شده باشد توانسته‌ایم حدوداً ۳۴ درصد در پارامتر مقاومت نهان نگار، هنگامی که حمله‌ی چرخش به تصاویر نهان‌نگاری شده اعمال شده باشد توانسته‌ایم حدوداً ۳۴ درصد در پارامتر مقاومت نهان نگار، هنگامی که حمله‌ی تغییر اندازه به تصاویر نهان‌نگاری شده اعمال شده باشد توانسته‌ایم حدوداً ۲۷ درصد در پارامتر مقاومت نهان نگار، هنگامی که حمله‌ی نویز گوسی به تصاویر نهان‌نگاری شده اعمال شده باشد توانسته‌ایم حدوداً ۷ درصد در پارامتر مقاومت نهان نگار و هنگامی که حمله‌ی نویز فلفل نمک به تصاویر نهان‌نگاری شده اعمال شده باشد توانسته‌ایم حدوداً ۱۶ درصد در پارامتر مقاومت نهان نگار بهبود ایجاد کنیم.

## References

### مراجع

- [1] B. Yadav, A. Kumar, Y. Kumar, "A robust digital image watermarking algorithm using DWT and SVD", *Soft Computing: Theories and Applications*, vol. 583, pp 25–36, 2018 (doi: 10.1007/978-981-10-5687-1\_3).
- [2] O. Jane, S. Elba, "Hybrid non-blind watermarking based on DWT and SVD", *Journal of Applied Research and Technology*, pp. 750–761, vol. 12, no. 4, Aug. 2014 (doi: 10.1016/S1665-6423(14)70091-4).
- [3] D. Thind, S. Jindal, "A semi blind DWT–SVD video watermarking", *Procedia Computer Science*, vol. 46, pp. 1661-1667, April 2015 (doi: 10.1016/j.procs.2015.02.104).
- [4] T. Pham, D. Tran, W. Ma, "A proposed blind DWT-SVD watermarking scheme for EEG data", *Proceeding of the ICONIP*, pp. 69-76, Nov. 2015 (doi: 10.1007/978-3-319-26561-2\_9).
- [5] S.M. Mousavi, A. Naghsh, S. Abu-Bakar, "Watermarking techniques used in medical images: a survey", *Journal of Digital Imaging*, vol. 27, no. 6, pp. 714-729, May. 2014 (doi: 10.1007/s10278-014-9700-5).
- [6] R. Singh, D. Shaw, J. Sahoo, "A secure and robust block based DWT-SVD image watermarking approach", *Journal of Information and Optimization Sciences*, vol. 38, no. 6, pp. 911-925, Oct. 2017 (doi: 10.1080/02522-667.2017.1372137).
- [7] R. Singh, D. Shaw, S. Jha, M. Kumar, "A DWT-SVD based multiple watermarking scheme for image based data security", *Journal of Information and Optimization Sciences*, vol. 39, no. 1, pp. 67-81, 2018 (doi: 10.1080/02522667.2017.1372153).
- [8] S. Roy, A. Pal, "A hybrid domain color image watermarking based on DWT-SVD", *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Electrical Engineering*, vol. 43, no. 2, pp. 201-217, June 2019 (doi: 10.1007/s40998-018-0109-x).
- [9] M. Shanmugam, A. Chokkalingam, "Performance analysis of 2 level DWT-SVD based non blind and blind video watermarking using range conversion method", *Microsystem Technologies*, vol. 24, no. 12, pp. 4757-4765, 2018 (doi: 10.1007/s00542-018-3870-x).
- [10] L. Kuang, Y. Zhang, X. Han, "A Medical image authentication system based on reversible digital watermarking", *Proceeding of the IEEE/ICISE*, pp. 1047–1050, Nanjing, China, Dec. 2009 (doi: 10.1109/ICISE.2009-.60).
- [11] G. Bhatnagar, W. Jonathan, "Biometrics inspired watermarking based on a fractional dual tree complex wavelet transform", *Future Generation Computer Systems*, vol. 29, no. 1, pp 182–195, 2013 (doi: 10.1016/j.future.2012.05.021).
- [12] W. Pan, G. Coatrieux, N. Cuppens-Boulahia, F. Cuppens, C. Roux, "Medical image integrity control combining digital signature and lossless watermarking", *Data Privacy Management and Autonomous Spontaneous Security*, pp 153–162, 2010 (doi: 10.1007/978-3-642-11207-2\_12).
- [13] K. Navas, M. Sasikumar, "Survey of medical image watermarking algorithms", *Proceeding of the IEEE/SE-TIT*, pp. 1–6, Tunisia, March. 2007 (doi: 10.1007/s10278-014-9700-5).
- [14] S. Mohanty, K. Ramakrishnan, "A dual watermarking technique for images", *Proceedings of the ACM*, pp 49–51, Orlando Florida USA, Oct. 1999 (doi: 10.1145/319878.319891).
- [15] N. Memon, A. Chaudhry, M. Ahmad, Z. Keerio, "Hybrid watermarking of medical images for ROI authentication and recovery", *International Journal of Computer Mathematics*, vol. 88, no. 10, pp. 2057-2071, April. 2011 (doi: 10.1080/00207160.2010.543677).

- [16] N. Memon, S. Gilani, "Watermarking of chest CT scan medical images for content authentication", *International Journal of Computer Mathematics*, vol. 88, no. 2, pp. 265-280, 2011 (doi: 10.1080/00207161003596690).
- [17] A. Cheddad, J. Condell, K. Curran, P. Kevitt, "Digital image steganography: Survey and analysis of current methods", *Signal Process*, vol. 90, no. 3, pp. 727-752, March 2010 (doi: 10.1016/j.sigpro.2009.08.010).
- [18] W. Adnan, S. Hitarn, S. Abdul-Karim, M. TamJis, "A review of image watermarking", *Proceeding of the IEEE/ SCORED*, pp. 381-384, Putrajaya, Malaysia, Aug. 2003 (doi: 10.1109/SCORED.2003.1459727).
- [19] N. A. Memon, S. A. M. Gilani "NROI watermarking of medical images for content authentication", *Proceeding of the IEEE/INMIC*, pp. 106-1110, Karachi, Pakistan, Dec. 2008 (doi: 10.1109/INMIC.2008.4777717).
- [20] T. Le, K. Nguyen, H. Le, "Literature survey on image watermarking tools, watermark attacks, and benchmarking tools", *Proceeding of the IEEE/MMEGIA*, pp. 67-73, Athens, Greece, June 2010 (doi: 10.1109/MEDIA.2010.37).
- [21] Z. Wenyin, F. Shih, "Semi-fragile spatial watermarking based on local binary pattern operators", *Optcom Communications*, vol. 284, no. 16-17, pp. 3904-3912, Aug. 2011 (doi: 10.1016/j.optcom.2011.04.004).
- [22] R.G.V. Schyndel, A. Tirkel, C. Osborne, "A digital watermark, in image processing proceedings", *Proceeding of the IEEE/ICIP*, pp. 86-90, Austin, TX, USA, Nov. 1994 (doi: 10.1109/ICIP.1994.413536).
- [23] M. S. Goli, A. Naghsh, "A comparative study of image-in-image steganography using three methods of least significant bit, discrete wavelet transform and singular value decomposition", *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*, vol. 85, no. 1, pp. 1465 - 1474, 2016 (doi: 10.25518/0037-9565.6178).
- [24] A. Ansari, S. Hong, G. Saavedra, B. Javidi, M. Martinez-Corral, "Ownership protection of plenoptic images by robust and reversible watermarking", *Optics and Lasers in Engineering*, vol. 107, no. 1, pp.325- 334, Aug. 2018 (doi:10.1016/j.optlaseng.2018.03.028).
- [25] R.A. Alotaibi, L.A. Elrefaei, "Text-image watermarking based on integer wavelet transform (IWT) and discrete cosine transform (DCT)", *Applied Computing and Informatics*, vol. 15, no. 2, pp. 191-202, July 2019 (doi:10.1016/j.aci.2018.06.003).

زیر نویس ها

- 
1. Least significant bit
  2. Discrete Fourier transform
  3. Discrete-cosine transform
  4. Discrete-wavelet transform
  5. Dual tree complex wavelet transform
  6. Contourlet
  7. Singular value decomposition
  8. Peak-signal-to-noise ratio
  9. Correlation coefficient