

Vol. 13/ No. 51/Spring 2024

Research Article

A New Automatic Watermarking Algorithm based on Fuzzy Logic and Harris Hawks Optimization

Mehdi Falah Kazemi, Assistant Professor^{1*}  | Arash Ahmadpour, Assistant Professor²  | Nadia Pourmahdi, MSc³ 

¹Department of Electrical Engineering, Lahijan Branch, Islamic Azad University (IAU), Lahijan, Iran, Assistant Professor, me.fallah@iau.ac.ir

²Department of Electrical Engineering, Lahijan Branch, Islamic Azad University (IAU), Lahijan, Iran, Assistant Professor, ar.amp@iau.ac.ir

³Department of Computer Engineering, Lahijan Branch, Islamic Azad University (IAU), Lahijan, Iran, Nadia_Pourmehdi@yahoo.com

Correspondence

Mehdi Falah Kazemi, Assistant Professor, Department of Electrical Engineering, Lahijan Branch, Islamic Azad University (IAU), Lahijan, Iran, me.fallah@iau.ac.ir

Received: 11 October 2023

Revised: 1 November 2023

Accepted: 21 November 2023

Abstract

This paper presents a new watermarking method to improve the robustness and transparency of extracted and host images. The embedding process is based on decomposing of pyramidal directional filter bank and triangular matrix, while the watermark extraction process is based on Mamdani fuzzy logic. In this design, in order to obtain efficient robustness and transparency, the Harris hawks optimization algorithm is used to find the best value of embedding factor. For this purpose, in the embedding algorithm, pyramid directional filter bank decomposition is utilized and accordingly the approximation sub-bands are divided into 8*8 non-overlapping blocks. Moreover, by decomposing the triangular matrix, which embeds the watermark bits in the matrix element, the use of Mamdani implication and the product inference engine have led to an efficient watermark extraction. The simulation results show that the quality of the watermarked image is equal to 60.6dB. Furthermore, applying the proposed algorithm is strong against attacks.

Keywords: Watermarking, Pyramidal Directional Filter Bank Decomposition, Fuzzy inference, HHO.

Highlights

- Application of fuzzy logic in watermark image extraction.
- Application of the Harris Hawks optimization in the embedding algorithm.
- Applying a new algorithm for embedding a watermark image in the host image.
- Achieving strong robustness of the proposed algorithm to attacks.
- Achieving a watermarked image quality of 60dB.

Citation: M. Falah Kazemi, A. Ahmadpour, and N. Pourmahdi, "A New Automatic Watermarking Algorithm based on Fuzzy Logic and Harris Hawks Optimization" *Journal of Southern Communication Engineering*, vol. 13, no. 51, pp. 65–78, 2024, doi: 10.30495/jce.2023.1998526.1230, (in Persian).

مقاله پژوهشی

الگوریتم واترمارکینگ خودکار جدید مبتنی بر منطق فازی و بهینه‌سازی شاهین هریس

مهدی فلاح کاظمی^{۱*} | آرش احمدپور^۲ | نادیا پورمهدی^۳

چکیده:

این مقاله یک روش واترمارکینگ (Watermarking) جدید برای بهبود مقاومت و شفافیت تصویر استخراج شده و میزبان ارائه می‌کند. فرآیند تعبیه بر اساس تجزیه بانک فیلتر هرمی جهتی و ماتریس مثلثی است و فرآیند استخراج واترمارک، بر اساس منطق فازی ممدانی (Mamdani) است. در این طرح، به منظور دستیابی به مقاومت و شفافیت کارآمد، از الگوریتم بهینه‌سازی شاهین هریس برای یافتن بهترین مقدار ضریب تعبیه استفاده شده است. در الگوریتم تعبیه، از تجزیه بانک فیلتر هرمی جهتی استفاده شده است و سپس زیر باند تقریبی به بلوک‌های 8×8 غیر همپوشان تقسیم می‌شود. با اعمال تجزیه ماتریس مثلثی به بلوکهای ناهمپوشان، بیت‌های نشانه در درایه ماتریس درج می‌شود و از طرف دیگر از استلزام ممدانی و موتور استنتاج ضرب برای استخراج نشانه استفاده شده است که منجر به استخراج واترمارک کارآمد شده است. نتایج نشان می‌دهد که کیفیت تصویر واترمارک شده برابر با $60/6$ دسی‌بل است. در ضمن، الگوریتم پیشنهاد شده در برابر حملات مقاوم است.

کلید واژه‌ها: استلزام فازی، بهینه‌سازی شاهین هریس، تجزیه بانک فیلتر هرمی جهتی، واترمارکینگ

^۱استادیار گروه مهندسی برق، دانشکده فنی و مهندسی، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران،
me.fallah@iau.ac.ir

^۲استادیار گروه مهندسی برق، دانشکده فنی و مهندسی، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران،
ar.amp@iau.ac.ir

^۳گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده فنی و مهندسی، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران،
Nadia_Pourmehdi@yahoo.com

نویسنده مسئول

^۴استادیار گروه مهندسی برق، دانشکده فنی و مهندسی، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران،
me.fallah@iau.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۹ مهر ۱۴۰۲

تاریخ بازنگری: ۱۰ آبان ۱۴۰۲

تاریخ پذیرش: ۳۰ آبان ۱۴۰۲

<https://doi.org/10.30495/jce.2023.1998526.1230>

۱-مقدمه

پیشرفت در فناوری ساخت مدارات مجتمع، منجر به تولید سخت‌افزارهای دیجیتال قابل حمل شد. توسعه تجهیزات قابل حمل اینترنتی، انتقال و پخش تصاویر و اسناد را آسان می‌کند. بنابراین وجود یک واترمارک نامرئی برای شناسایی منبع تصویر در برخی کاربردها مهم است. به همین دلیل پخش‌کنندگان تصویر سعی می‌کنند واترمارک نامرئی را از بین ببرند تا منبع اصلی تصویر مشخص نباشد. در نتیجه، شاخه‌ای از علم مبتنی بر پیشنهاد الگوریتم‌هایی است که تصویر واترمارک در تصویر اصلی (میزبان) به گونه‌ای تعبیه شود که اولاً نامرئی باشد و ثانیاً کیفیت تصویر اصلی تا حد امکان دستخوش تغییر زیادی نشود. پیاده‌سازی الگوریتم واترمارکینگ در حوزه مکان یا حوزه تبدیل انجام می‌شود و محققین در این دو حوزه الگوریتم و مقالات زیادی را ارائه کرده‌اند. برخی از تبدیل‌های استفاده شده عبارتند از: تبدیل فوریه گسسته^۱ (DFT)، تبدیل فوریه جزئی گسسته^۲ (DFrFT)، تبدیل موجک گسسته^۳ (DWT)، تبدیل کسینوسی گسسته^۴ (DCT)، تبدیل کانتورلت^۵ (CT). به عنوان یک بررسی در مرجع [۳]، یک واترمارکینگ کور در حوزه مکان را معرفی کرده است. در این طرح تصویر واترمارک در مؤلفه رنگ آبی درج

¹ Discrete Fourier transform² Discrete Fraction Fourier transform³ Discrete Wavelet Transform⁴ Discrete Cosine Transform⁵ Contourlet Transform

می‌شود. مؤلفه رنگ آبی تصویر میزبان به ۲۶ تصویر کوچکتر تقسیم شده است که هر قسمت تصویر فرعی نامیده شده است. هر تصویر فرعی به ۲۵۶ بلوک تعبیه تقسیم می‌شود. ضریب DC هر بلوک تعبیه محاسبه شده و سپس ضریب بلوک تعبیه مطابق با جدول کوانتیزاسیون اصلاح می‌شود. در نهایت، واترمارک در بلوک تعبیه شده درج می‌شود. یکی از مشکلات الگوریتم معرفی شده، ظرفیت پایین آن می‌باشد. یکی دیگر از طرح‌های واترمارک تصویر رنگی در حوزه مکان در مرجع [۴] معرفی شد. در این طرح، تصویر به کانال‌های رنگی R، G و B تقسیم می‌شود. تصاویر کانال رنگی به بلوک‌های ۸*۸ تقسیم می‌شوند. برای مؤلفه رنگ B، فرآیند تعبیه از طریق الگوریتم SIRD^۱ انجام می‌شود. مطابق با الگوریتم اسکن، بلوک‌های ۸*۸ مؤلفه‌های رنگی R و G به بلوک‌های فرعی ۴*۴ تقسیم می‌شود و سپس واترمارک در آن تعبیه می‌شود. در مرجع [۵] یک واترمارکینگ در حوزه مکان و ترکیبی از 2D-DFT^۲ برای واترمارک کردن تصویر رنگی پیشنهاد شده است. هر مؤلفه رنگی تصویر اصلی به بلوک‌های کوچکتر تقسیم می‌شود و پیکسل‌های مربوط به واترمارک در مؤلفه DC دو بلوک مجاور تعبیه می‌شود. کاظمی و همکاران در [۶، ۷، ۸] روش‌های مختلفی را در حوزه تبدیل پیشنهاد کردند که کیفیت تصویر واترمارک شده و مقاومت واترمارک استخراج شده مناسب است. در روش اول، ترکیبی از تبدیل کانتورلت با لبه‌یابی کُنی^۳ معرفی شد که در آن لبه‌یابی کُنی به زیرباند‌های جهت‌ی کانتورلت اعمال می‌شود و سپس واترمارک در آن تعبیه می‌شود. در روشی دیگر، واترمارک در ضریب کورتیز^۴ تعبیه شده است. در روش سوم از ترکیب تبدیل کانتورلت با تشخیص لبه مؤلفه رنگ زنزو^۵ استفاده شده است. در مرجع [۹] روش واترمارکینگ دیگری در حوزه تبدیل بسته موجک^۶ (WPT) معرفی شد که در آن تفاوت رنگ‌های RG، GB و BR محاسبه می‌شود. در این طرح، WPT به تمام تفاوت‌های سه رنگ اعمال می‌شود. با توجه به ظرفیت زیرباند‌ها، بردارهای چندگانه برای هر تفاوت رنگ محاسبه شده و سپس واترمارک به آن اضافه می‌شود. علاوه بر این، ترکیبی از کانال‌های WPT و سه رنگ استفاده می‌شود و پیکسل‌های واترمارک در ضرایب انرژی لایه‌های داخلی تجزیه WPT قرار می‌گیرند. در مرجع [۱۰] از ترکیب تبدیل کرولت گسسته^۷ (DCuT) و تبدیل RDWT^۸ برای علامت‌گذاری استفاده شده است. برای این منظور، DCuT در سطح اول بر روی تصویر میزبان اعمال می‌شود. سپس ضریب فرکانس بالای انتخاب شده و RDWT بر روی آنها اعمال می‌شود. ضرایب جدید استخراج شده به بلوک‌های ۸*۸ تقسیم شده و بیت‌های واترمارک به آنها اضافه می‌شوند. نتایج ارائه شده نشان دهنده شفافیت و مقاومت کارآمد می‌باشد. در مرجع [۱۱]، از تبدیل FRFT^۹ استفاده شده است. SVD^{۱۰} به ضرایب FRFT بصورت بلوکی اعمال می‌شود و سپس واترمارک به اولین درایه SVD اضافه می‌شود. در [۱۲] از RDWT مشابه مرجع [۱۳] استفاده شده است. در این کار از SVD برای تعبیه واترمارک استفاده شده است. اما نتایج ضعیفی در این کار گزارش شده است.

معیار سنجش نتایج واترمارکینگ به دو بخش تقسیم می‌شود. بخش اول نسبت پیک سیگنال به نویز^{۱۱} (PSNR) یا تشابه ساختاری^{۱۲} (SSIM) است که این معیار، میزان کیفیت تصویر واترمارک شده را نشان می‌دهد. بخش دوم اندازه‌گیری کیفیت تصویر واترمارک استخراج شده است که براساس همبستگی نرمال شده^{۱۳} (NC) یا نرخ خطای بیت^{۱۴} (BER) اندازه‌گیری می‌شود. بخش دوم، روش واترمارکینگ پیشنهادی معرفی می‌شود. نتایج اندازه‌گیری کیفیت تصویر واترمارک شده، کیفیت استخراج واترمارک و مقایسه با مقالات به روز در بخش سوم ارائه شده است و در نهایت نتیجه‌گیری در بخش چهارم می‌باشد.

¹ Simple Image Region Detector

² Two-Dimensional Discrete Curvelet Transform

³ Canny

⁴ Kurtosis

⁵ Zenzo

⁶ Wavelet Packet Transform

⁷ Discrete Curvelet Transform

⁸ Redundant Discrete Wavelet Transform

⁹ Fractional fourier Transform

¹⁰ Singular Value Decomposition

¹¹ Peak Signal to Noise Ratio

¹² Structural Similarity

¹³ Normalized Correlation

¹⁴ Bit Error Rate

۲- الگوریتم واترمارکینگ پیشنهادی

الگوریتم پیشنهادی به چهار بخش تقسیم شده است که به ترتیب عبارتند از: پیش پردازش، تعبیه واترمارک، استخراج واترمارک و بهینه‌سازی می‌باشد. در هر بخش الگوریتم‌ها بررسی و مورد بحث قرار خواهد گرفت و شبه کد نیز برای هر بخش ارائه می‌شود.

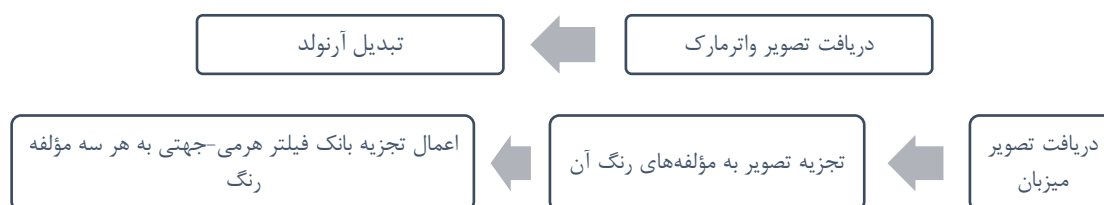
۲-۱- فرایند پیش‌پردازش

در این قسمت تصویر واترمارک دریافت شده و با سه کلید مختلف با استفاده از تبدیل آرنولد^۱ به هم ریخته می‌شود. سه تصویر واترمارک به هم ریخته را MAR، MAG و MAB می‌نامیم. دلیل استفاده از تبدیل آرنولد و سه کلید مختلف به ترتیب افزایش امنیت و مقاومت در برابر حملات برش است. در ادامه تصویر رنگی میزبان نیز در فضای رنگ RGB دریافت می‌شود و به سه مؤلفه رنگ قرمز، سبز و آبی تفکیک می‌شود. تجزیه تصویر رنگی میزبان به مؤلفه‌های رنگ آن به دلیل این است که تصویر واترمارک بطور مستقل در هر سه مؤلفه درج خواهد شد. جهت آماده‌سازی تصویر میزبان برای بخش تعبیه، تجزیه بانک فیلتر هرمی-جهتی^۲ (PDFBDec) به هر مؤلفه رنگی تصویر میزبان اعمال می‌شود. مرجع [۱۴] تجزیه بانک فیلتر هرمی-جهتی را شرح می‌دهد. الگوریتم ۱ شبه کد بخش پیش‌پردازش و شکل ۱ بلوک دیاگرام بخش پیش‌پردازش را نشان می‌دهد. خط سوم و چهارم دوم شبه کد مربوط به دریافت تصویر واترمارک و تبدیل آرنولد با کلیدهای مختلف KR، KG و KB است. خط سوم و چهارم مربوط به دریافت تصویر میزبان و تجزیه آن به مؤلفه رنگ‌های آن است. خط ۵ اعمال فیلتر بانک هرمی-جهتی است.

1. $M = \text{imread}(\text{watermark})$
2. $[M_z]_{z \in \{R, G, B\}} = \text{arnold}(M, K_R, K_G, K_B)$
3. $C = \text{imread}(\text{Host Image})$
4. $[C_z]_{z \in \{R, G, B\}} = \text{imsplit}(C)$
5. $[PD_z]_{z \in \{R, G, B\}} = \text{pdfbdec}(C_z)_{z \in \{R, G, B\}}$

الگوریتم ۱: شبه کد پیش‌پردازش

Algorithm 1. Preprocessing pseudocode



شکل ۱: نمودار بلوکی پیش‌پردازش

Figure 1. Block diagram of preprocessing

۲-۲- فرایند تعبیه واترمارک

فرایند ایجاد یک تصویر واترمارک به این صورت است که زیرباند تقریب تجزیه بانک فیلتر هرمی-جهتی (AP) هر مؤلفه رنگ به بلوک‌های 8×8 ناهم‌پوشان تقسیم می‌شود. زیرباند تقریب (AP) یک تصویر 512×512 ، یک ماتریس 256×256 است و در نتیجه 1024 بلوک خواهیم داشت. تبدیل ماتریس تجزیه بالا مثلثی به هر بلوک اعمال می‌شود. بنابراین دو ماتریس Q و S بدست می‌آید. S یک ماتریس بالا مثلثی و Q یک ماتریس واحد است. اطلاعات واترمارک در درایه سطر اول و ستون هشتم ماتریس S درج می‌شود. برای تشکیل تصویر واترمارک شده، فرایند باید به صورت معکوس انجام شود، یعنی بلوک‌های 8×8 باید از ماتریس S تشکیل شوند و بلوک‌های 8×8 ادغام شده و زیرباند تقریب جدید به دست می‌آیند. تبدیل معکوس باند فیلتر

¹ Arnold transform

² Pyramidal Directional Filter Bank Decomposition

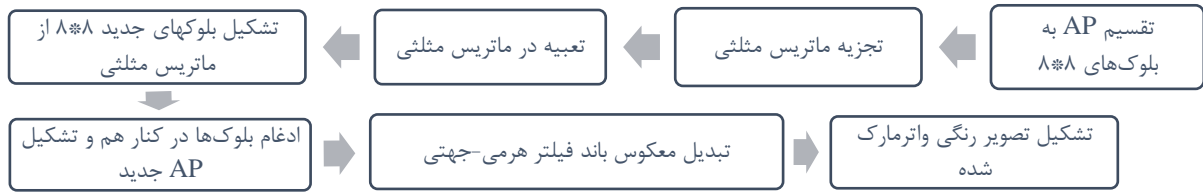
هرمی-جهتی^۱ (PDFBRec) به زیرباند جدید تقریب و سایر زیرباندهای PDFB اعمال می‌شود و تصویر واترمارک شده در حوزه مکان به دست می‌آید.

شبه کد تعبیه واترمارک در الگوریتم ۲ نشان داده شده است. خط ۱ تجزیه زیرباند تقریب را به بلوک‌های ۸*۸ نشان می‌دهد و خط دوم استفاده از تبدیل مثلثی را بر روی بلوک‌ها نشان می‌دهد. تعبیه واترمارک در ماتریس مثلثی در خط ۳ و بازیابی ماتریس اصلی از ماتریس مثلثی در خط ۴ است. خط ۵ ادغام بلوک‌ها و تشکیل ماتریس زیرباند تقریب (AP) را نشان می‌دهد. در نهایت با اعمال تبدیل معکوس PDFBRec، تصویر هر یک از مؤلفه‌های رنگ ایجاد می‌شود. با قرار دادن سه تصویر در کنار هم، یک تصویر رنگی واترمارک شده تشکیل می‌شود. شکل ۲ نمودار بلوکی الگوریتم تعبیه واترمارک را نشان می‌دهد.

1. $PD_{z,AP} = \sum_{i=1}^{1024} Blk_{88,z,i}$
 $z \in R,G,B$ $i \in R,G,B$
2. $\begin{bmatrix} Q_{z,i} & S_{z,i} \\ z \in R,G,B & z \in R,G,B \\ i=1to1024 & i=1to1024 \end{bmatrix} = schur \left(\begin{matrix} Blk_{88,z,i} \\ z \in R,G,B \\ i=1to1024 \end{matrix} \right)$
3. $snew_{z,i}[1,8] = \begin{cases} snew_{z,i}[1,8] + \alpha & ,if M_{z,i} = 1 \\ z \in R,G,B & z \in R,G,B \\ i=1to1024 & i=1to1024 \end{cases}$
 $snew_{z,i}[1,8] = \begin{cases} snew_{z,i}[1,8] - \alpha & ,if M_{z,i} = 0 \\ z \in R,G,B & z \in R,G,B \\ i=1to1024 & i=1to1024 \end{cases}$
4. $Blk_{88new,z,i} = Q_{z,i} \cdot snew_{z,i} \cdot Q_{z,i}^T$
 $z \in R,G,B & z \in R,G,B & z \in R,G,B & z \in R,G,B \\ i=1to1024 & i=1to1024 & i=1to1024 & i=1to1024$
5. $PD_{new,z,AP} = \sum_{i=1}^{1024} Blk_{88new,z,i}$
 $z \in R,G,B & z \in R,G,B$
6. $W_z = pdfbrec \left(PD_{new,z,AP}, \dots \right)$
 $z \in R,G,B & z \in R,G,B$
7. $Watermarked = cat3(Wat_R, Wat_G, Wat_B)$

الگوریتم ۲: الگوریتم تعبیه واترمارک

Algorithm 2. The watermark embedding algorithm



شکل ۲: نمودار بلوکی الگوریتم تعبیه واترمارک

Figure 2. The block diagram of watermark embedding algorithm

۲-۳- فرایند استخراج واترمارک

فرایند استخراج واترمارک از تصویر واترمارک شده انجام می‌شود. تصویر واترمارک ممکن است تحت حملات مختلف قرار گرفته باشد و یا در معرض حمله‌ی قرار نگرفته باشد. با اخذ تصویر واترمارک شده، PDFBDec به سه مؤلفه رنگ آن اعمال می‌شود و ضرایب AP آن انتخاب شده و سپس به بلوک‌های ۸*۸ ناهمپوشان تقسیم می‌شود. هر بلوک بطور جداگانه به یک ماتریس بالا مثلثی تجزیه می‌شود. درایه سطر اول و ستون هشتم ماتریس تجزیه بالا مثلثی S انتخاب می‌شوند. این مقدار به عنوان ورودی مجموعه فازی انتخاب می‌شود.

^۱ Pyramidal Directional Filter Bank Reconstruction

توابع عضویت ورودی و خروجی مجموعه فازی در شکل ۳ نشان داده شده است. لازم به ذکر است که تابع عضویت بصورت تطبیقی براساس ALFA در نظر گرفته شده است که در خط ۸ الگوریتم ۳ این موضوع مشخص است. اگر x ورودی مجموعه فازی باشد، قوانین فازی بصورت زیر تعریف می‌شوند:

$$\begin{aligned} &\text{If } (x \text{ is } A1) \text{ then } (y \text{ is } B1) \\ &\text{If } (x \text{ is } A3) \text{ then } (y \text{ is } B2) \\ &\text{If } (x \text{ is } A2) \text{ then } (\text{if } P_{\text{mark}}(1) \geq P_{\text{mark}}(-1) \text{ then } y \text{ is } B2 \text{ else } y \text{ is } B1) \end{aligned} \quad (1)$$

در قانون سوم، از احتمال میزان ۱ یا -۱ بودن واترمارک اصلی برای اختصاص مجموعه به y استفاده می‌شود که در قسمت پیش‌پردازش برای هر تصویر واترمارک اصلی محاسبه می‌شود. خروجی موتور استنتاج نهایی برای سه قانون فوق به شرح زیر است:

$$\mu_{B,f}(y) = \bigcup_{l=1}^3 \mu_B^l(y) = \mu_B^1(y) \circ \mu_B^2(y) \circ \mu_B^3(y) \quad (2)$$

$$\mu_{B,f}(y) = \max_{l=1}^3 \mu_B^l(y) \quad (3)$$

هر بیت واترمارک در هر مؤلفه رنگی و در زیر باند ماتریس تقریب مثلثی تعبیه می‌شود. اگر قواعد بصورت ترکیب ممدانی استفاده شود، قانون رابطه فازی QM برابر زیر است،

$$Q_M = \bigcup_{r \in R, G, B} Rul^r \quad (4)$$

و برای تابع عضویت می‌توان نوشت،

$$\mu_{Q_M}(x, y) = \mu_{Rul}^R(y) \circ \mu_{Rul}^G(y) \circ \mu_{Rul}^B(y) \quad (5)$$

که در آن "o" برای نمایش عملگر s-norm است. $\mu_{Rul}^R(x, y)$ رابطه بکار رفته برای مولفه رنگ قرمز، $\mu_{Rul}^B(x, y)$ رابطه بکار رفته برای مولفه رنگ آبی و $\mu_{Rul}^G(x, y)$ برای مولفه رنگ سبز است. خروجی موتور استنتاج برابر است با،

$$\mu_{B'}(y) = SUP_{x \in U} t[\mu_{A'}(x), \mu_{Q_M}(x, y)] \quad (6)$$

که اگر t-norm را ضرب در نظر بگیریم، ۶ بصورت زیر بازنویسی می‌شود،

$$\mu_{B'}(y) = SUP_{x \in U} [\mu_{A'}(x) \mu_{Q_M}(x, y)] \quad (7)$$

با ترکیب ۷ و ۳ معادله ۸ بدست می‌آید.

$$\mu_{B',f}(y) = \max_{l=1}^3 SUP_{x \in U} [\mu_{A'}(x) \mu_{Q_M}(x, y)] \quad (8)$$

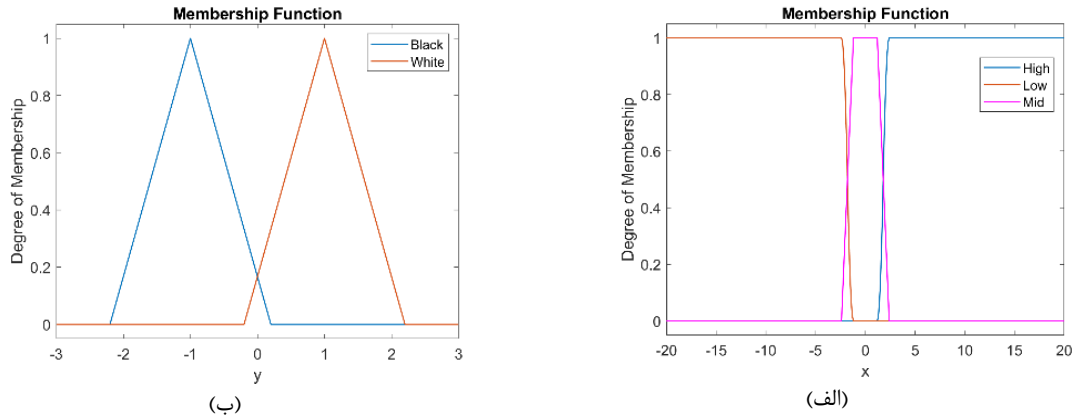
برای غیر فازی سازی y از مرکز ثقل استفاده شده است.

$$y^* = \frac{\sum_{l=1}^3 \bar{y}^l w_l}{\sum_{l=1}^3 w_l} \quad (9)$$

که در آن w_l درجه ارتفاع است. در نهایت برای باینری کردن y^* از قانون زیر استفاده شده است:

$$y_b = \begin{cases} 1 & y^* \geq 0.5 \\ -1 & y^* < 0.5 \end{cases} \quad (10)$$

الگوریتم ۳ شبه کد و شکل ۴ نمودار بلوکی فرایند استخراج را نشان می‌دهد.



شکل ۳: (الف) تابع عضویت ورودی (ب) تابع عضویت خروجی

Figure 3. (a) input membership function (b) output membership function

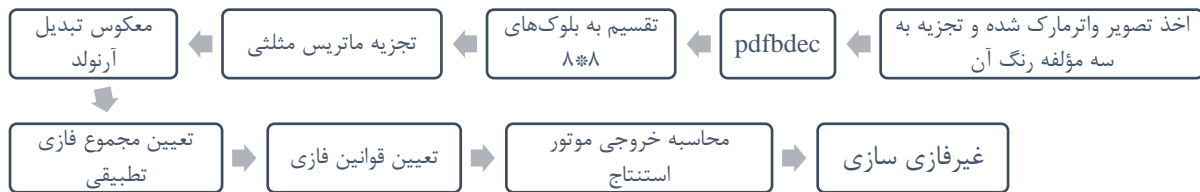
1. $W = \text{imread}(\text{Watermarked Image})$
2. $[W_z] = \text{imsplit}(W)$
 $z \in R, G, B$
3. $[PD_z] = \text{pdfbdec}(W_z)$
 $z \in R, G, B$
4. $PD_{z, AP} = \sum_{i=1}^{1024} WBlk88_{z, i}$
 $z \in R, G, B$
5. $[QW_{z, i}, SW_{z, i}] = \text{schur}(Blk88_{z, i})$
 $z \in R, G, B$
 $i=1 \text{ to } 1024$
6. $\text{Watermark}_{z, i}^{Arn} = SW_{z, i} - S_{z, i}$
 $z \in R, G, B$
 $i=1 \text{ to } 1024$
7. $\text{Watermark}_{z, j} = \text{inv_Arnold}(\text{Watermark}_{z, i}^{Arn})$
 $z \in R, G, B$
 $j=1 \text{ to } 1024$
8. $\text{Low} : \mu_{A1}(x) = \text{zmf}(x, -2\text{alfa}/10, -\text{alfa}/10)$
 $\text{Mid} : \mu_{A2}(x) = \text{trapmf}(x, -2\text{alfa}/10, -\text{alfa}/10, \text{alfa}/10, 2\text{alfa}/10)$
 $\text{High} : \mu_{A3}(x) = \text{smf}(x, \text{alfa}/10, 2\text{alfa}/10)$
 $\text{Black} : \mu_{B1}(x) = \text{trimf}(y, -2.2, -1, 0.2)$
 $\text{White} : \mu_{B2}(x) = \text{trimf}(y, -0.2, 1, 2.2)$
9. $x_j = \bigcup_{z \in R, G, B} (\text{Watermark}_{z, j})$
 $z \in R, G, B$
 $j=1 \text{ to } 1024$
 $\text{if}(x_j \text{ is } A_1) \text{ then } (y_j \text{ is } B_1)$
10. $\text{if}(x_j \text{ is } A_3) \text{ then } (y_j \text{ is } B_2)$
 $f(x_j \text{ is } A_2) \text{ then } (\text{if } P_{\text{watermark}}(1) \geq P_{\text{watermark}}(-1) \text{ then } y_j \text{ is } B_2 \text{ else } y_j \text{ is } B_1)$
11. $\mu_{B', f}(y_j) = \max_{l=1}^3 \text{SUP}_{x \in U} [\mu_{A'}(x_j) \mu_{Q_M}(x_j, y_j)]$
12. $y_j^* = \sum_{l=1}^3 \bar{y}_j^l w_l / \sum_{l=1}^3 w_l$
13. $\text{if}(y_j^* \geq 0.5) \text{ then } (y_{bj} = 1) \text{ else } (y_{bj} = -1)$

الگوریتم ۳: شبه کد استخراج واترمارک

Algorithm 3. The watermark extraction pseudocode

۴-۲- بهینه‌سازی ضریب درج

در این مقاله از بهینه‌ساز شاهین هریس (HHO) برای بهینه‌سازی ضریب تعبیه استفاده شده است. هدف از بهینه‌سازی به دست آوردن بهترین ضریب تعبیه برای دست یافتن به بهترین SSIM^۱ و BER^۲ به ترتیب برای تصویر واترمارک شده و واترمارک استخراج شده است. واضح است که BER برای حملات مختلف متفاوت است، بنابراین سناریوی حملات مختلف در بهینه‌سازی بکار رفته است.



شکل ۴: نمودار بلوکی استخراج واترمارک

Figure 4. The block diagram of watermark extraction

حملات شامل فیلتر متوسط^۳ (BA3) ۳*۳، فیلتر متوسط^۵ (BA5) ۵*۵، فیلتر میان^۳ (BM3) ۳*۳، فیلتر میان^۵ (BM5) ۵*۵، فشرده‌سازی ۹۰ (BC9)، فشرده‌سازی ۷۰ (BC7)، نویز گاوسی ۰/۰۰۱ (BG1)، نویز گاوسی ۰/۰۱ (BG2)، نویز فلفل نمکی ۰/۰۰۱ (BP1)، نویز فلفل نمکی ۰/۰۱ (BP2)، نویز جرقه ۰/۰۰۱ (BS1)، نویز جرقه ۰/۰۱ (BS21) و نویز متعادل‌سازی هیستوگرام (BH). در ضمن در اینجا مهم است که اثر استخراج واترمارک بدون حمله را در معادله شایستگی^۴ در نظر بگیریم. در معادله شایستگی، وزن‌های مختلفی برای SSIM و BER مربوط به حملات مختلف در نظر گرفته شده است. این وزن‌ها بر اساس اهمیت SSIM و BER انتخاب می‌شوند. اگر وزن‌ها به درستی انتخاب نشوند، یک معیار اندازه‌گیری بهبود بیشتری نسبت به معیار دیگر بدست می‌آورد که می‌تواند باعث کاهش معیار دیگر شود. در معادله ۱۱، وزن BER_{Rt} تقریباً دو برابر وزن (1-SSIM) در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است که این دو کمیت دارای دو ماهیت متفاوت است. نتایج نشان می‌دهد که این انتخاب منجر به نتایج مناسبی می‌شود. معادله شایستگی به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$BER_Rt = 6 \times BN + 0.5 \times (BA3 + BA5 + BM3 + BM5 + BC9 + BC7 + BG1 + BG2 + BP1 + BP2 + BS1 + BS2) + BH$$

$$Fitness = 6 \times (1 - SSIM) + BER_Rt \quad (11)$$

شبه کد بهینه‌سازی در الگوریتم ۴ نشان داده شده است. در این الگوریتم، تابع حمله و ایجاد واترمارک به ترتیب با عنوان 'different_attack' و 'f_watermarked' نشان داده شده است.

۳- نتایج اندازه‌گیری و تجربی

در این بخش نتایج کار ارائه شده بررسی خواهد شد. برای این منظور از شش تصویر معروف لنا، قایق، بابون، آوین، گل و فلفل استفاده شد. نتایج براساس ضریب تعبیه (ALFA) بهینه شده برای هر تصویر بیان می‌شود. معیار اندازه‌گیری بکار رفته SSIM و PSNR^۵ است که SSIM درجه تشابه ساختاری بین دو تصویر میزبان و واترمارک شده را نشان می‌دهد [۱]. PSNR بر اساس تفاوت بین تصویر میزبان و تصویر واترمارک شده است که از رابطه (۱۲) محاسبه می‌شود.

$$PSNR = 10 \log \left(L^2 / \frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [WAT(m,n) - HOST(m,n)]^2 \right) \quad (12)$$

¹ Structural Similarity² Bit Error Rate³ Average Filtering⁴ Fitness equation⁵ Peak Signal to Noise Ratio

که در آن WAT و HOST به ترتیب تصویر واترمارک شده و تصویر میزبان (اصلی) است، L محدوده دینامیکی روشنایی پیکسل‌های تصویر است (L=255). علاوه بر این، NC و BER برای اندازه‌گیری شباهت و تفاوت بین واترمارک استخراج شده و واترمارک اصلی بکار می‌رود و از معادله ۱۳ محاسبه می‌شود.

$$NC = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N M(i, j) M_e(i, j)}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [M(i, j)]^2}, BER = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N |M(i, j) - M_e(i, j)|}{2 \times M \times N} \quad (13)$$

که در آن M و N به ترتیب طول و عرض واترمارک است. M(i,j) و Me(i,j) به ترتیب به بیت‌های واترمارک اصلی و واترمارک استخراج شده اشاره دارد.

Inputs: The population size 5 and maximum number of iterations T=10

Outputs: The location of rabbit and its fitness value

Initialize the random population Xi(i = 1, 2, . . . ,5)

while (t<T) **do**

fitness=**fobj**(HostIm,MarkIm,X(i));

Set Xrabbit as the location of rabbit (best location)

for (each hawk (Xi)) **do**

Update the initial energy E0 and jump strength J ▷ E0=2rand()-1, J=2(1-rand())

Update the E using Eq. (3) ref[2]

if (|E| >= 1) **then** ▷ Exploration phase

Update the location vector using Eq. (1) ref[2]

if (|E| < 1) **then** ▷ Exploitation phase

if (r >= 0.5 and |E| >= 0.5) **then** ▷ Soft besiege

Update the location vector using Eq. (4) ref[2]

else if (r >= 0.5 and |E| < 0.5) **then** ▷ Hard besiege

Update the location vector using Eq. (6) ref[2]

else if (r < 0.5 and |E| >= 0.5) **then** ▷ Soft besiege with progressive rapid dives

Update the location vector using Eq. (10) ref[2]

else if (r < 0.5 and |E| < 0.5) **then** ▷ Hard besiege with progressive rapid dives

Update the location vector using Eq. (11) ref[2]

Return Xrabbit

function [fitness]=**fobj**(HostIm,MarkIm,ALFA)

[SSIM,PSNR,WatIm]= **f_watermarked** (HostImage,MarkIm,ALFA);

[BER_Rt,BER_Attack]= **different_Attack** (WatIm,MarkIm,ALFA);

fitness=(BER_Rt +6*(1-SSIM));

end

الگوریتم ۴: شبه کد HHO (این الگوریتم از مرجع [۲] با اعمال اندکی تغییرات اخذ شده است)

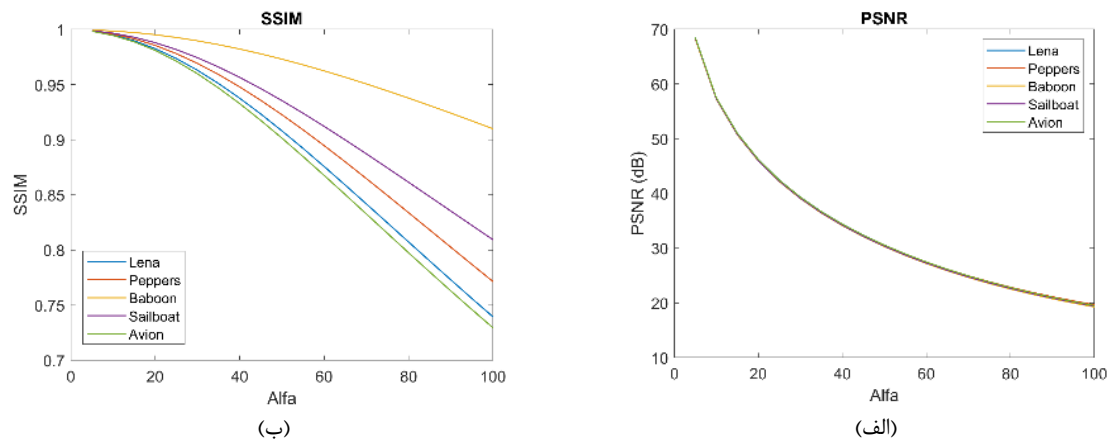
Algorithm 4. HHO pseudocode (with small changes to the pseudocode in reference [2])

جدول ۱، SSIM و PSNR تصاویر واترمارک شده الگوریتم پیشنهادی را نشان می‌دهد.

ضریب تعبیه بهینه که از HHO محاسبه شده است در تصاویر واترمارک شده استفاده شده است. شکل ۵ تغییرات PSNR و SSIM را بر حسب ضریب تعبیه نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود PSNR و SSIM که مربوط به کیفیت تصویر واترمارک شده است با افزایش ضریب تعبیه کاهش می‌یابد. رفتار انرژی فرار (E) بهینه‌ساز HHO برای ۲۵۰ تکرار در شکل ۶ نشان داده شده است. مطابق با شکل ۶، E روند کاهشی دارد. علاوه بر این، برای محدوده‌های مختلف E، الگوریتم بهینه‌ساز رفتار متفاوتی دارد که در الگوریتم ۴ نشان داده شده است. مقدار بهینه ضریب تعبیه هنگامیکه انرژی فرار نزدیک به صفر است قابل استفاده است. برای اندازه‌گیری مقاومت الگوریتم پیشنهادی، تصویر واترمارک شده در معرض حملات مختلف قرار می‌دهیم و سپس تصویر واترمارک استخراج می‌شود. با محاسبه پارامتر NC، مقاومت در برابر حملات اندازه‌گیری می‌شود. در اینجا، هدف از حمله تخریب اطلاعات واترمارک است. بنابراین در طرح پیشنهادی لازم است که در برابر این حملات مقاوم باشد. اگر طرح پیشنهادی مقاومت بالایی در برابر حملات داشته باشد معیار اندازه‌گیری NC به یک نزدیک خواهد شد. شکل ۷ تصویر واترمارک شده را تحت حملات فیلتر میانه، فیلتر متوسط، نویز گاوسی، تغییر اندازه و برش نشان می‌دهد. با توجه به نتایج نشان داده شده در شکل ۷، الگوریتم پیشنهادی مقاومت بالایی در برابر حملات مختلف نشان می‌دهد. در نمودارهای ترسیم شده، مقادیر میانگین برای ده تست رسم شده است. دلیل آن است که برخی از حملات تصادفی هستند و محاسبه NC مقدار ثابتی نخواهد داشت.

¹ Harris Hawks Optimization

شکل ۸ نیز نتایج حملات ترکیبی را نشان می‌دهد. واترمارک استخراج شده برای حملات ترکیبی نیز در شکل ۹ نشان داده شده است.




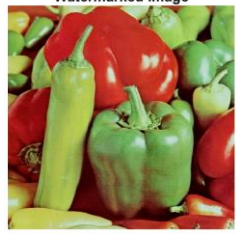
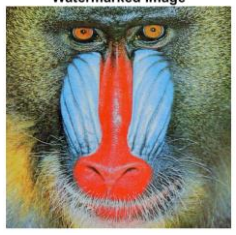



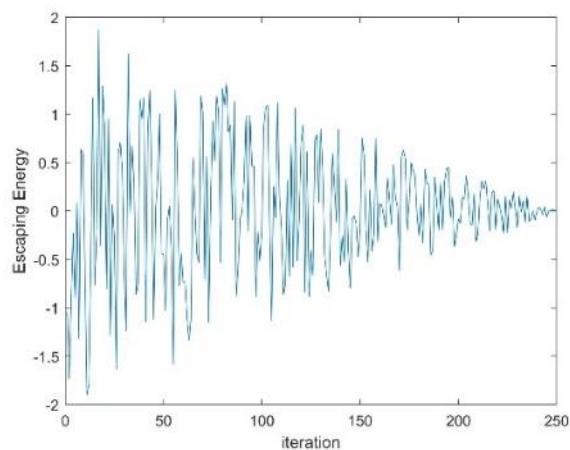
شکل ۵: کیفیت تصویر واترمارک شده بر اساس تغییرات ضریب تعبیه (الف) تغییرات PSNR برحسب ضریب تعبیه (ب) تغییرات SSIM برحسب ضریب تعبیه

Figure 5. Image quality of watermarked image based on varying embedding factor (a) Variation of PSNR according to embedding factor (b) Variation of SSIM according to embedding factor.

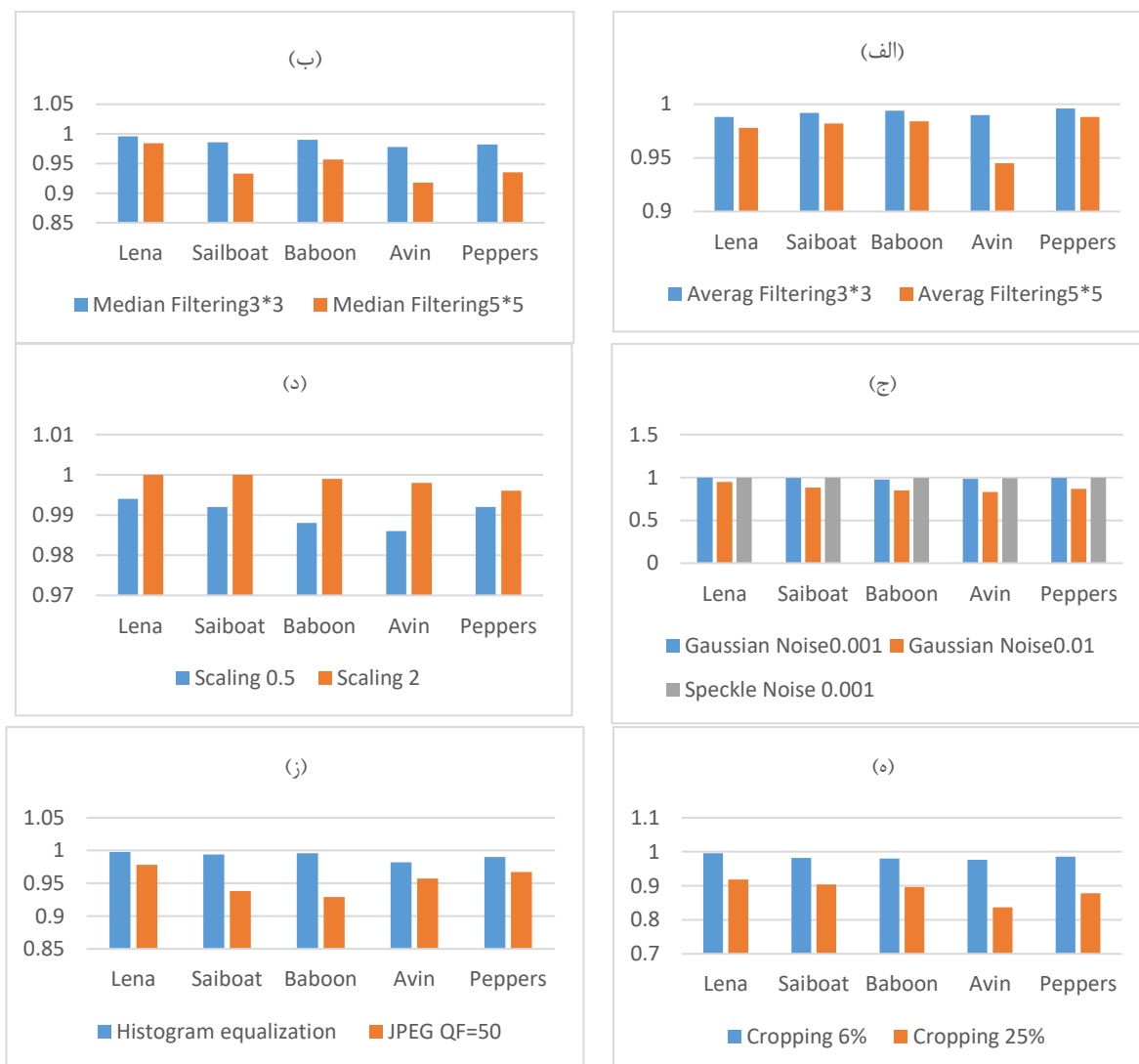
جدول ۱: SSIM و PSNR برای تصاویر واترمارک شده مختلف

Table 1. SSIM and PSNR for various images

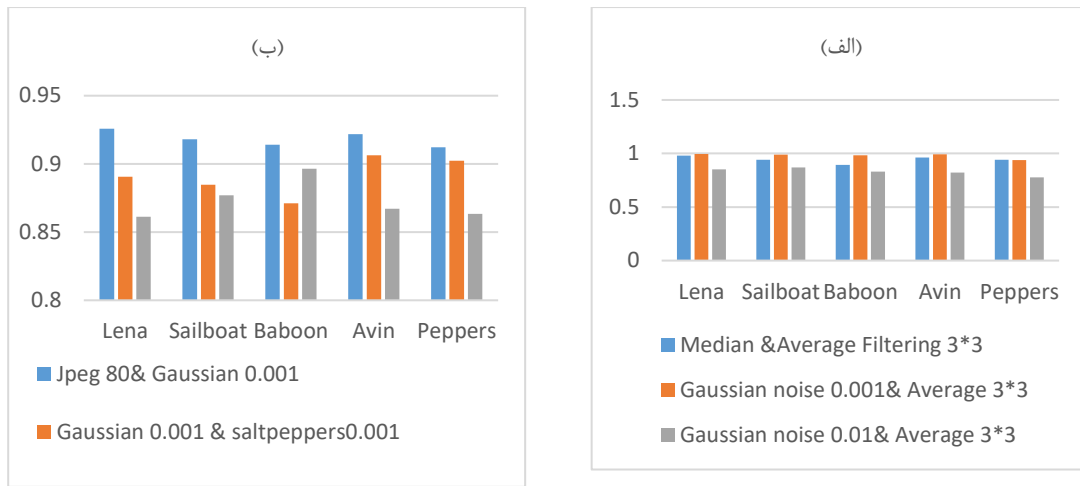
	Sample 1	Sample 2	Sample 3
	Watermarked Image	Watermarked Image	Watermarked Image
			
PSNR/SSIM	۶۰/۶۱۴۷،۰/۹۹۶۹	۶۰/۳۲،۰/۹۹۶۴	۵۵/۰۴،۰/۹۹۶۰
ALFA	۱۰/۳۲۱۶	۱۰/۵۲۵۸	۱۴/۸۳۳۷
	Watermarked Image	Watermarked Image	Watermarked Image
			
PSNR/SSIM	۶۲/۶۶،۰/۹۹۸۰	۵۳/۴۷۶۵،۰/۹۹۸۳	۵۴/۷۶۴۹،۰/۹۹۶۶
ALFA	۹/۰۶۹۱	۱۶/۳۳۵۲	۱۵/۱۷۶۲



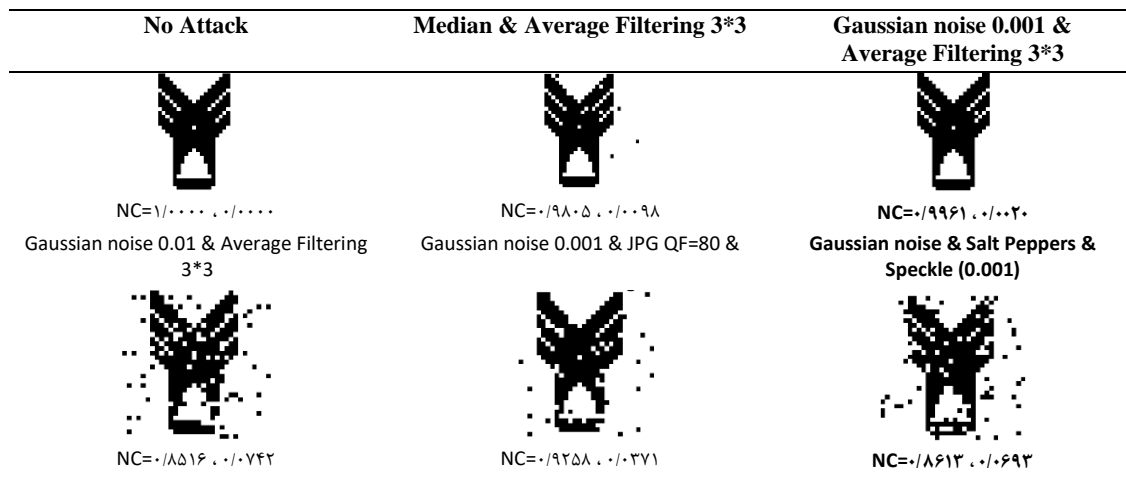
شکل ۶: رفتار انرژی فرار برای ۲۵۰ تکرار
Figure 6. Escaping energy behavior for 250 iterations



شکل ۷: مقادیر NC مربوط به واترمارک استخراج شده تحت حملات مختلف
Figure 7. NC values of extracted watermarks under different attacks



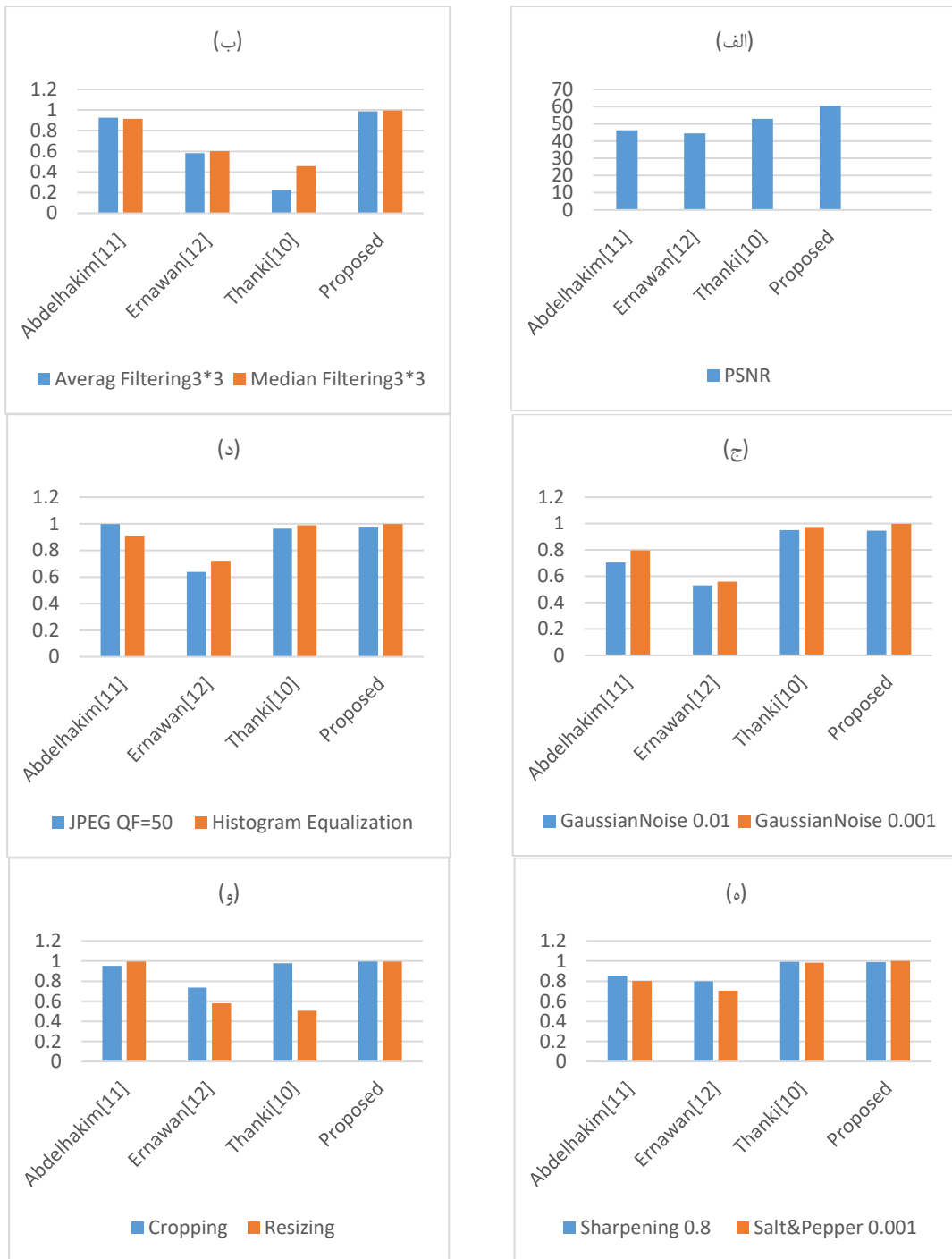
شکل ۸: نتایج حملات ترکیبی
Figure 8. Results of combined attacks



شکل ۹: تصاویر واترمارک استخراج شده برای حملات ترکیبی
Figure 9. the extracted watermark image for combined attacks

۳-۱- مقایسه نتایج طرح پیشنهادی با کارهای مشابه

نتایج کار پیشنهادی با سه مقاله مقایسه شده است که مقالات عبارتند از: مرجع [۱۱]، واترمارکینگ بر اساس FRFT و SVD است. مرجع [۱۲]، از RDWT و SVD برای پیاده‌سازی واترمارکینگ استفاده کرده است و مرجع [۱۰]، با استفاده از حوزه DCuT-RDWT، واترمارکینگ را انجام داده است. شکل ۱۰ طرح واترمارکینگ پیشنهادی و کارهای مشابه را برای تصویر لنا نشان می‌دهد. مقایسه شفافیت بر اساس PSNR است. همانطور که از شکل ۱۰-الف مشخص است، شفافیت به دست آمده ۶۰/۶ دسی‌بل است که در مقایسه با مقالات تحت مقایسه، بهبود قابل توجهی است. کمیت اندازه‌گیری NC نیز برای مقایسه واترمارک استخراج شده برای حملات مختلف است. همانطور که از بخشهای مختلف شکل ۱۰ مشخص است، طرح پیشنهادی مقاومت قوی در برابر حملات دارد. در واقع برای مقایسه مقاومت طرح پیشنهادی با طرح‌های مشابه، تصویر واترمارک شده لنا در معرض حمله فیلتر متوسط، فیلتر میانه، نویز گاوسی، نویز جرقه، متعادل‌سازی هیستوگرام، نویز لفل و نمکی، برش، تغییر اندازه و حملات فشرده‌سازی JPEG قرار می‌گیرد و سپس درجه تشابه واترمارک استخراج شده و واترمارک اصلی با محاسبه NC بدست می‌آید. برای به دست آوردن تخمینی از بهبود مقاومت در برابر حملات، همگی NC های نشان داده شده در شکل ۱۰ را با هم جمع کرده و آنها را به عنوان امتیاز در نظر می‌گیریم. واضح است که امتیاز بالاتر به معنای مقاومت بهتر در برابر حملات است. در کار پیشنهادی امتیاز برابر ۹/۸۸ و برای مقالات [۱۱]، [۱۲] و [۱۰] به ترتیب برابر ۸/۸۶، ۶/۴۵ و ۸/۰۲ است. بنابراین، الگوریتم پیشنهادی از مقاومت کارآمدی در برابر حملات در مقایسه با سایر کارها برخوردار است.



شکل ۱۰: (الف) مقایسه شفافیت کار معرفی شده با مقالات مشابه (ب،...، و) مقایسه NC کار معرفی شده با مقالات مشابه
 Figure 10. comparison of transparency of the proposed scheme with similar scheme and comparison of watermark extraction for different attacks for the introduced scheme with similar schemes

۴- نتیجه گیری

در این مقاله، یک طرح واترمارک بر اساس تجزیه بانک فیلتر هرمی-جهتی و تجزیه مثلثی پیشنهاد شد. رویکرد منطق فازی نیز در سطح استخراج واترمارک مورد استفاده قرار گرفت. در نتیجه‌ی استفاده از این طرح، شفافیت بالایی از تصویر واترمارک شده همراه با بهبود واترمارک استخراج شده به دست آمد. با توجه به اینکه ضریب تعبیه به صورت خطی با SSIM و مقاومت تغییر نمی‌کند، بنابراین از الگوریتم بهینه‌سازی برای به دست آوردن ضریب تعبیه بهینه استفاده شد. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که طرح پیشنهادی از مقاومت و شفافیت بالایی برخوردار است. مقدار PSNR، ۶۰/۶ دسی‌بل برای تصویر لنا به دست آمد. علاوه بر این، اندازه‌گیری NC برای اکثر حملات مناسب بود و واترمارک استخراج شده نیز قابل تشخیص بود.

مراجع

- [1] 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, Apr. 2004, doi: 10.1109/tip.2003.819861.
- [2] A. A. Heidari, S. Mirjalili, H. Faris, I. Aljarah, M. Mafarja and H. Chen, "Harris hawks optimization: Algorithm and applications," *Future Generation Computer Systems*, vol. 97, pp. 849–872, Aug. 2019, doi: 10.1016/j.future.2019.02.028.
- [3] Q. Su and B. Chen, "Robust color image watermarking technique in the spatial domain," *Soft Computing*, vol. 22, no. 1, pp. 91–106, Jan. 2017, doi: 10.1007/s00500-017-2489-7.
- [4] J. Abraham and V. Paul, "An imperceptible spatial domain color image watermarking scheme," *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, vol. 31, no. 1, pp. 125–133, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.jksuci.2016.12.004.
- [5] X. Zhang, Q. Su, Z. Yuan and D. Liu, "An efficient blind color image watermarking algorithm in spatial domain combining discrete Fourier transform," *Optik*, vol. 219, p. 165272, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.jle.2020.165272.
- [6] M. F. Kazemi and A. H. Mazinan, "Neural network based CT-Canny edge detector considering watermarking framework," *Evolving Systems*, vol. 13, no. 1, pp. 145–157, Mar. 2021, doi: 10.1007/s12530-021-09369-2.
- [7] M. F. Kazemi, M. A. Pourmina and A. H. Mazinan, "Novel Neural Network Based CT-NSCT Watermarking Framework Based upon Kurtosis Coefficients," *Sensing and Imaging*, vol. 21, no. 1, Dec. 2019, doi: 10.1007/s11220-019-0270-y.
- [8] M. F. Kazemi, M. A. Pourmina and A. H. Mazinan, "Analysis of watermarking framework for color image through a neural network-based approach," *Complex & Intelligent Systems*, vol. 6, no. 1, pp. 213–220, Jan. 2020, doi: 10.1007/s40747-020-00129-4.
- [9] H. M. Al-Otum, "Secure and robust host-adapted color image watermarking using inter-layered wavelet-packets," *Journal of Visual Communication and Image Representation*, vol. 66, p. 102726, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.jvcir.2019.102726.
- [10] R. Thanki, A. Kothari and D. Trivedi, "Hybrid and blind watermarking scheme in DCuT – RDWT domain," *Journal of Information Security and Applications*, vol. 46, pp. 231–249, Jun. 2019, doi: 10.1016/j.jisa.2019.03.017.
- [11] A. M. Abdelhakim, M. H. Saad, M. Sayed and H. I. Saleh, "Optimized SVD-based robust watermarking in the fractional Fourier domain," *Multimedia Tools and Applications*, vol. 77, no. 21, pp. 27895–27917, Apr. 2018, doi: 10.1007/s11042-018-6014-5.
- [12] F. Ernawan and M. N. Kabir, "A block-based RDWT-SVD image watermarking method using human visual system characteristics," *The Visual Computer*, vol. 36, no. 1, pp. 19–37, Jun. 2018, doi: 10.1007/s00371-018-1567-x.
- [13] N. M. Makbol and B. E. Khoo, "Robust blind image watermarking scheme based on Redundant Discrete Wavelet Transform and Singular Value Decomposition," *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, vol. 67, no. 2, pp. 102–112, Feb. 2013, doi: 10.1016/j.aeue.2012.06.008.
- [14] M. N. Do and M. Vetterli, "The contourlet transform: an efficient directional multiresolution image representation," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 14, no. 12, pp. 2091–2106, Dec. 2005, doi: 10.1109/tip.2005.859376.

COPYRIGHTS

©2024 by the authors. Published by the Islamic Azad University Bushehr Branch. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

