

یک روش ترکیبی برای بهبود پنهان‌نگاری در تصاویر با استفاده از روش‌های فرا ابتکاری

لادن ریاضی^۱، علیرضا پورابراهیمی^{۲*}، محمود البرزی^۳ و رضا رادفر^۴

^{۱,۴} دانشکده مدیریت و اقتصاد، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

^۳ دانشکده مدیریت، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران

چکیده

در این مقاله روشی برای بهبود عملیات پنهان‌نگاری و بالا بردن امنیت، با استفاده از ترکیب الگوریتم‌های فرا ابتکاری ارائه شده است. هدف، دست‌یابی به مقدار بهبود یافته PSNR است؛ به گونه‌ای که کیفیت تصویر در فرایند پنهان‌نگاری حفظ شود. در این روش ابتدا هفت الگوریتم فرا ابتکاری متداول در این حوزه، از جمله بهینه‌سازی کلونی مورچه، زنبور عسل، جستجوی فاخته، زنتیک، حرکت ذرات، تبرید شبیه‌سازی شده، کرم شب‌تاب انتخاب و کارایی الگوریتم‌های یادشده پس از اعمال به صورت انفرادی بر روی داده‌های موجود ارزیابی قرار می‌گیرد. از میان الگوریتم‌های اعمال شده، سه الگوریتم جستجوی فاخته، کرم شب‌تاب، زنبور عسل که دارای بهترین مقدار تابع برازش و درنتیجه بالاترین کیفیت هستند، انتخاب شدند. تمامی شش حالت مختلف از ترکیب این سه الگوریتم به طور مجزا بررسی شد. بهترین ترکیب به کار رفته به ترتیب، الگوریتم‌های کرم شب‌تاب، زنبور عسل و جستجوی فاخته است که این ترکیب، میانگین نسبت سیگنال به نویه برابر $54/89$ را فراهم کرده است. ترکیب یادشده در مقایسه با الگوریتم‌های انفرادی بررسی شده بهینه‌سازی کلونی مورچه، زنبور عسل، جستجوی فاخته، زنتیک، حرکت ذرات، تبرید شبیه‌سازی شده، کرم شب‌تاب، به ترتیب به میزان $59/29$ ، $52/43$ ، $29/61$ ، $54/84$ ، $52/56$ و $57/82$ درصد بهبود در مقدار PSNR را ارائه می‌کند.

واژگان کلیدی: پنهان‌نگاری، الگوریتم‌های فرا ابتکاری، الگوریتم کرم شب‌تاب، الگوریتم زنبور عسل، الگوریتم جستجوی فاخته.

A hybrid method to improve Steganography in JPEG images using metaheuristic algorithms

Ladan Riazi¹, Alireza Pourebrahimi^{2*}, Mahmood Alborzi³ & Reza Radfar⁴

^{1,3,4} faculty of economics and management, science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

² faculty of management, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran

Abstract

This paper presents a method for improving steganography and enhancing the security using combinatorial Meta-heuristic algorithms. The goal is to achieve an improved PSNR value in order to preserve the image quality in the steganography process.

Steganography algorithms, in order to insert message signal information inside the host data, create small changes based on the message signal in the host data, so that they are not visible to the human eye. Each cryptographic algorithm has two steps: insert a stego signal and extract it. You can use the area of the spatial or transformation area to insert the stego signal. Extraction can be done using the correlation with the original watermark or independently of it. Clearly, the choice of insertion method and how to extract are interdependent. In spatial techniques, information is stored directly in pixel color intensity but in the transform domain, the image is initially converted to another domain (such as frequency), and then the

* Corresponding author

*نویسنده عهده‌دار مکاتبات



information is embedded in the conversion coefficients. Using optimization algorithms based on Metahuristic algorithms in this field is widely used and many researchers have been encouraged to use it. Using a suitable fitness function, these methods are useful in the design of steganography algorithms.

In this research, seven commonly used Metahuristic algorithms, including ant colony, bee, cuckoo search, genetics, Particle Swarm Optimization, Simulated Annealing and firefly were selected and the performance of these algorithms is evaluated individually on existing data after being applied individually.

Among the applied algorithms, cuckoo search, firefly and bee algorithms that have the best fitness function and therefore the highest quality were selected. All 6 different modes of combining these 3 algorithms were separately examined. The best combination is the firefly, bee and cuckoo search algorithms, which provides a mean signal-to-noise ratio of 54.89.

The proposed combination compared to the individual algorithms of optimization of ant colony, bee, cuckoo search, genetics, Particle Swarm Optimization, Simulated Annealing and firefly, provides 59.29, 29.61, 37.43, 52.56, 54.84, 57.82, and 3.82% improvement in the PSNR value.

Keywords: steganography, Metahuristic algorithms, firefly algorithm, bee algorithm, cuckoo search algorithms.

رنگ پیکسل‌ها دخیره می‌شوند؛ ولی در حوزه تبدیل ابتدا تصویر به حوزه دیگری (مانند فرکانس) منتقل شده و سپس اطلاعات در ضایای تبدیل جاسازی می‌شود. الگوریتم‌های پنهان‌نگاری، بهمنظور درج اطلاعات سیگنال پیام در داخل داده میزبان، تغییرات کوچکی را بر اساس سیگنال پیام در داده میزبان، ایجاد می‌کنند؛ بهنحوی که با چشم انسان قابل مشاهده نباشد. واضح است که با افزایش داده‌های جاسازی شده در یک تصویر، احتمال مشکوک‌شدن تحلیل‌گر به وجود پیام پنهان در تصویر مورد نظر بیشتر می‌شود و لذا، امنیت پیام پنهان شده مورد نظر، به خطر می‌افتد، لذا در این مقاله، روشی ارائه شده که با حفظ کیفیت تصویر پنهان‌نگاری شده، امنیت ارتقا یابد [1].

۱- مقدمه

یکی از موضوعات مهم در مبادله پیام‌های محرمانه اینترنتی مسئله امنیت تبادل اطلاعات است. پنهان‌نگاری (استگانوگرافی¹) یکی از شاخه‌های علم مخفی‌سازی اطلاعات است که به دنبال رسیدن به یک سطح امنیتی مطلوب در تبادل اطلاعات محرمانه تجاری و نظامی است؛ بهنحوی که تبادل فایل‌هایی حامل اطلاعات محرمانه، برای دیگران محسوس و مشخص نباشد. این روش‌ها می‌تواند به عنوان مکمل روش‌های رمزنگاری در مبادله اطلاعات محرمانه استفاده شود [2]. استگانوگرافی از لغت یونانی استگانوس (پوشاندن) و گرافتوس (نوشتن) گرفته شده و درواقع استگانوگرافی دانشی است برای پنهان‌کردن داده یا فایل در فایل دیگر، به طوری که فقط افراد آگاه با ابزار لازم بتوانند به آن دست یابند. زمانی که بیگانی به‌وسیله پنهان‌نگاری در یک فایل میزبان پنهان می‌شود، در صورتی که شخصی بداند نحوه ذخیره‌سازی اطلاعات در این فایل چگونه بوده و نوع الگوریتم مورد استفاده جهت پنهان‌نگاری را نیز بداند، آنگاه او قادر خواهد بود اطلاعات را بخواند. مخفی‌کردن یک اطلاعات می‌تواند در لابه‌لای قالب‌های مختلفی از اطلاعات مانند متن، صوت، تصویر و شبکه باشد [3].

هر الگوریتم پنهان‌نگاری دو مرحله دارد: درج سیگنال نهان‌نگاره² در تصویر و استخراج آن. برای درج سیگنال نهان‌نگاره می‌توان از حوزه مکان یا حوزه تبدیل استفاده کرد. استخراج آن می‌تواند با استفاده از همبستگی با نهان‌نگاره اصلی و یا مستقل از آن صورت گیرد. واضح است، انتخاب روش درج و نحوه استخراج نهان‌نگاره به هم وابسته‌اند [4]. در روش‌های حوزه مکان اطلاعات به‌طور مستقیم در شدت

۲- مروایی بر پژوهش‌های مرتبط

تا کنون پژوهش‌های زیادی در زمینه پنهان‌نگاری تصویر انجام شده است. در مرحله درج، داده‌های پنهان‌نگاری درون تصویر میزبان قرار داده می‌شوند. برای این کار داده‌ها می‌توانند در حوزه مکان یا در حوزه تبدیل در تصویر قرار داده شوند. قراردادن داده در حوزه مکان یک روش ساده با هزینه محاسباتی بسیار کم ولی دارای مقاومت ناچیزی در برابر فشرده‌سازی تصویر است. در زمان استفاده از حوزه تبدیل، ابتدا بر روی تصویر میزبان یک تبدیل مانند تبدیل موجک³، کسینوس یا فوریه⁴ اعمال می‌شود، سپس زیرمجموعه‌ای از ضایای تبدیل انتخاب و بر اساس داده‌های پیام، ضایای طوری تغییر داده می‌شوند که در برگیرنده پنهان‌نگاری شوند [5]. در پژوهش‌های اخیر پنهان‌نگاری، تأکید بر استفاده از تبدیل موجک است؛ بعد از این مرحله،

³ Wavelet

⁴ Fourier transform

¹ Steganography

² Watermark



در پژوهش [9] روش LSB² به عنوان روش پایه در نظر گرفته شده و جهت بهبود کیفیت و امنیت تصویر، تصویر بوسیله n بلاک 8×8 پیکسلی تقسیم و پیام محرمانه نیز به n بخش تقسیم، سپس از الگوریتم PSO³ جهت یافتن ماتریس جایگزینی بهینه برای جایگزینی پیام محرمانه در هر بلاک به جای کل تصویر استفاده می‌شود.

در مطالعه [10] ترکیب دو الگوریتم فرآیندانداری PSO و SA مطالعه شده است. روش انجام کار بدین صورت است که در ابتداء الگوریتم PSO به داده‌ها اعمال شده و بهترین نتیجه بدست آمده از این الگوریتم به عنوان پاسخ اولیه در SA مورد استفاده قرار گرفته است؛ بنابراین پاسخ همسایه تولید شده در SA بر مبنای پاسخ بدست آمده در الگوریتم PSO است. نویسنده مقاله ادعا می‌کند که این روش نه تنها موجب بهبود کیفیت تصاویر می‌شود، بلکه امنیت اطلاعات کدشده را نیز به خوبی تضمین می‌کند.

در مطالعه [11] از الگوریتم ACO جهت پنهان کردن داده‌ها در پیکسل‌های لبه‌ای تصویر استفاده شده است. در پژوهشی دیگر [12] ابتدا تصاویر به بلوک‌هایی تقسیم، سپس الگوریتم ACO به صورت جداگانه بر روی هر بلوک از تصویر اعمال می‌شود. در مطالعه [13] روشی جهت پنهان کردن داده‌ها در حوزه فرکانس با استفاده از الگوریتم ژنتیک (GA) ارائه شده و پژوهش‌گر توانسته با روش پیشنهادی موجب بهبود میزان PSNR در تصاویر پنهان‌نگاری و در نتیجه بهبود کیفیت تصاویر شود.

(جدول-۱): فهرست الگوریتم‌های فرآیندانداری به کاررفته در پنهان‌نگاری تصاویر

(Table-1): The list of algorithms used in the image steganography

نام الگوریتم	مخلف	مرجع
بهینه‌سازی کلونی مورچه	ACO ⁴	[14]
الگوریتم زنبور عسل	BA ⁵	[15] و [16]
الگوریتم جستجوی فاخته	CS ⁶	[17]
الگوریتم ژنتیک	GA ⁷	[18] و [19] و [20]
الگوریتم بهینه‌سازی حرکت ذرات	PSO ⁸	[21] و [22] و [30]
تبیید شبیه‌سازی شده	SA ⁹	[23]
الگوریتم بهینه‌سازی کرم شب‌تاب	FA ¹⁰	[24]

² least significant bit

³ Particle swarm optimization

⁴ Ant Colony Optimization

⁵ Bee Algorithm

⁶ Cuckoo Search Algorithm

⁷ Genetic Algorithm

⁸ Particle Swarm Optimization

⁹ Simulated Annealing

¹⁰ Firefly Algorithm

تصویر پنهان‌نگاری شده آماده انتشار خواهد بود. مراحل بعدی فرایند پنهان‌نگاری در سمت گیرنده انجام می‌گیرد. در گیرنده، از تصویر پنهان‌نگاری شده که تحت تأثیر حملات و تغییرات عمده و غیرعمده در زمان انتشار قرار گرفته است، داده‌های پنهان‌نگاری شده استخراج می‌شوند.

در [3] الگوریتمی برای درج سیگنال نهان‌نگاره در یک تصویر خاکستری، به روش طیف گستردۀ در حوزه تبدیل گسسته کسینوسی ارائه شده و تصویر پنهان‌نگاری شده در برابر حملات عمده و غیر عمده، بهویژه در برابر فشرده‌سازی JPEG مقاوم شده است. در پژوهشی دیگر [6] تبدیل گسسته کسینوسی بر روی بلوک‌های 8×8 تصویر انجام می‌شود. در هر بلوک، مهمنه‌ترین ضربی AC در جدول برای درج هر ضربی از سیگنال طیف گستردۀ نهان‌نگاره، انتخاب شده است.

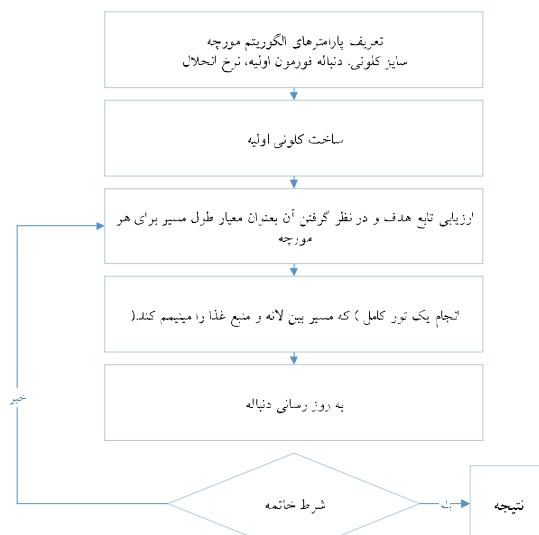
کارهایی نیز با استفاده از تبدیل موجک انجام شده است که در این روش‌ها ابتدا تبدیل موجک تصویر بدست می‌آید و پس از بدست‌آوردن ضرایب موجک، اطلاعات موردنظر در آن جاسازی شده است. به عنوان مثال در یکی از کارهای صورت گرفته، پنهان‌نگاری براساس چندی‌سازی¹ ضرایب فرکانس پایین تبدیل موجک بنا شده و از گوهای تکرارشونده موجود در نماد پنهان‌شده در استخراج آن بهره می‌برد [7]. در پژوهشی دیگری در این زمینه، پنهان‌نگاری با استفاده از تبدیل موجک افزونه انجام می‌شود. در این روش سیگنال نهان‌نگاره در بخش فرکانس پایین تصویر میزان پنهان می‌شود. این روش دارای مقاومت بالایی است و نهان‌نگاره را می‌توان با خطای کمی از تصویر برای استخراج کرد. در ابتداء از ضرایب تبدیل موجک مختلط تصویر برای محاسبه یک ماسک دیداری استفاده شده و سپس با استفاده از این ماسک نهان‌نگاره‌ای که به خصوصیات تصویر وابسته باشد، تولید می‌شود. برای پنهان‌سازی نهان‌نگاره نیز از ضرایب تبدیل موجک مختلط سطح سوم استفاده شده است [5].

روش سنتی تشخیص کور تصویر JPEG پنهان‌نگاری شده از یک ویژگی یا درنهایت تلفیق دو ویژگی استفاده می‌کند. مطالعه [8] به چگونگی انتخاب یک ترکیبی از ویژگی‌های برتر برای دست‌یابی به تشخیص بهتر پرداخته است. این مطالعه با بهره‌گیری از ایده درختان هافمن و محاسبه ضربی همبستگی به انتخاب ویژگی‌ها پرداخته است. به طوری که در هر بار به ترکیب دو ویژگی که کمترین ضربی همبستگی را دارند، می‌پردازد.

¹ quantization

۳-۲- الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچه (ACO) در پنهان‌نگاری تصاویر

طرح کلی از الگوریتم ACO عمومی در شکل (۱) ارائه شده است. مراحل زیر نحوه اجرای این الگوریتم فرالبتکاری را در طرح پنهان‌نگاری تصاویر نشان می‌دهد [29].



شکل-۱): شمای الگوریتم کلونی مورچه
(Figure-1): An Ant Colony Algorithm Schema

مرحله ۱: تعیین اندازه کلونی، دنباله فرمون اولیه، نرخ انحلال (۵)، تابع هدف، و تعداد نسل‌ها به عنوان معیار توقف الگوریتم.

مرحله ۲: تولید تصادفی یک جمعیت اولیه از مورچه‌ها، که مجموعه‌ای از راه حل‌های بالقوه را تشکیل می‌دهند. هر مورچه به صورت $\{x_1 \cdot x_2 \cdot \dots \cdot x_n\} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ نشان داده می‌شود. فرمول زیر نحوه تولید جمعیت اولیه را نشان می‌دهد.

$$f_{pheromone}(x_i) = e^{\frac{(x_i - x_i^*)^2}{2\sigma_i^2}} \quad (3)$$

که در آن است که x_i^* برابر با امین مختصات بهترین نقطه پیدا شده در بهینه‌سازی در فضای طراحی تکرار فعلی است. پارامتر σ_i شاخص تجمع مورچه‌ها برای مختصات x_i از فضای طراحی است. در تکرار نخست، x_i^* بر اساس یک توزیع یکنواخت در نظر گرفته می‌شود. همچنین σ_i دست‌کم سه برابر بزرگ‌تر از طول فاصله جستجو انتخاب می‌شود.

مرحله ۳: برای هر مورچه X از جمعیت: تولید تصویر پنهان‌نگاری شده W با استفاده از فرایند تعبیه‌سازی انجام شود.

استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی مبتنی بر الگوریتم‌های فرالبتکاری و الگوریتم‌های مبتنی بر محاسبات زیستی در این حوزه متداول بوده و پژوهش‌گران زیادی را به استفاده از آن ترغیب کرده است. با استفاده از یک تابع برازش^۱ مناسب، این روش‌ها در طراحی الگوریتم‌های پنهان‌نگاری مفید هستند. جدول (۱) فهرست الگوریتم‌هایی است که در این حوزه به کار رفته‌اند.

۳- روش استفاده شده در این پژوهش

مراحل انجام روش به کار رفته در این پژوهش، به این قرار است که چندین الگوریتم فرالبتکاری متداول در پنهان‌نگاری تصاویر بر اساس مراجع یادشده در بخش قبل، مورد استفاده قرار می‌گیرند. ابتدا این الگوریتم‌های معرفی شده به تنها یک روی داده‌های موجود اعمال و پس از آن الگوریتم‌ها با توجه به بهترین PSNR به دست آمده مرتب می‌شوند. از میان الگوریتم‌های اعمال شده، سه الگوریتمی که نتیجه بهتری را داشته باشند، برای استفاده در مرحله بعد انتخاب می‌شوند. شش حالت مختلف از ترکیب این سه الگوریتم به طور مجزا بررسی و نتیجه نهایی ثبت می‌شود و ترکیبی که بهترین نتیجه را حاصل کند، انتخاب می‌شود. در ادامه جزئیات مربوط به ترکیب الگوریتم‌ها را شرح خواهیم داد.

۳-۱- تابع برازش به کار رفته

از آنجایی که در مسایل مربوط به پردازش تصویر پارامترهای MSE² و PSNR³ برای ارزیابی کیفیت تصویر به کار می‌روند، در این پژوهش مقدار PSNR به عنوان تابع برازش مورد استفاده قرار می‌گیرد. درواقع هر چه میزان PSNR بیشتر باشد، نشان‌دهنده این است که بازسازی تصویر بهتر صورت گرفته و کیفیت تصویر بالاتر است و در نتیجه امنیت پنهان‌نگاری بهتر حفظ خواهد شد.

$$PSNR = 10 * \log_{10}(255^2 / MSE) \quad (1)$$

$$MSE = \frac{1}{W \cdot H} \sum_{i=1}^W \sum_{j=1}^H (s_{ij} - c_{ij})^2 \quad (2)$$

s_{ij} و c_{ij} شدت پیکسل i,j در تصویر پوششی⁴ و تصویر به دست آمده⁵ است. W و H تعداد پیکسل‌های موجود در طول و عرض تصویر اولیه است.

¹ Fitness function

² peak signal to noise rate

³ mean square error

⁴ Cover Image

⁵ stego-image

$$P_i = \frac{fit_i}{\sum_{i=1}^{SN} fit_i} \quad (8)$$

که در آن $rand(0.1)$ یک عدد تصادفی با توزیع نرمال بین صفر و یک است.

$$X_{ij} = x_{min,j} + rand(0.1) * (x_{max,j} - x_{min,j}) \quad (6)$$

در الگوریتم ABC، هر چرخه از جستجو از منابع غذایی جدید شامل سه مرحله است که در اینجا یک‌به‌یک مورد بحث قرار می‌دهیم:

زنبور عسل شاغل: زنبور به کار تولید یک راه حل جدید بسته به اطلاعات محلی پرداخته و مقایسه تناسب راه حل جدید را با راه حل قبلی آن انجام می‌دهد. اگر مقدار تناسب راه حل جدید بالاتر از راه حل فعلی آن باشد، راه حل جدید جایگزین راه حل قبلی می‌شود. در غیر این صورت با راه حل فعلی به کار خود بهمنظور تولید یک راه حل جدید ادامه خواهد داد. اگر راه حل جدید را با $y_i = y_{i,1}, \dots, y_{i,D}$ نشان دهیم، الگوریتم بهینه‌سازی مورچه بدین صورت عمل می‌کند:

$$y_{i,j} = x_{i,j} + \varphi_{i,j} * (x_{i,j} - x_{k,j}) \quad (7)$$

که در آن $\{1.2, \dots, D\}$ و $k \in \{1, 2, \dots, SN\}$. $j \in \{1, 2, \dots, D\}$ بوده و بهصورت تصادفی انتخاب می‌شود؛ بدطوری که شاخص K از آن متفاوت باشد. زیک پارامتر تصادفی بین -1 و 1 است که تولید راه حل‌های جدید در همسایگی $x_{i,j}$ را انجام داده و نشان‌دهنده مقایسه بین دو موقعیت غذا مشاهده شده توسط یک زنبور عسل را نشان می‌دهند.

زنبور عسل ناظر: زنبورهای شاغل به اشتراک‌گذاری مقدار تابع برازش از منابع غذایی و اطلاعات موقعیت خود با زنبور عسل ناظر می‌پردازند. زنبور ناظر اطلاعات شهد گرفته شده را از تمام زنبورهای کارگر ارزیابی کرده و یک منبع غذایی را با درنظرگرفتن احتمال مربوط به مقدار تابع برازش آن انتخاب می‌کند.

بدین ترتیب مقدار شهد از ماده غذایی افزایش می‌یابد و احتمال انتخاب آن منبع غذایی توسط سایر زنبورها نیز افزایش می‌یابد. پس از رسیدن به منطقه انتخاب شده، زنبور ناظر به انتخاب یکی دیگر از منابع غذایی در نزدیکی اطلاعات دریافتی ذخیره شده پرداخته و در صورت بهترین داده تابع برازش مقدار آن را جایگزین مقدار قبلی می‌کند. انتخاب یک منبع غذایی بر اساس احتمال P_i و بهصورت زیر محاسبه می‌شود:

- محاسبه همبستگی نرمال بین تصویر اصلی و تصویر پنهان‌نگاری شده: NC(I,IW)

اعمال یک حمله شناسایی اطلاعات پنهان‌نگاری شده از مجموع T حمله انتخاب شده به تصویر IW. این امر منجر به T تصاویر پنهان‌نگاری حمله شده متفاوت برای هر تصویر پنهان‌نگاری شده اصلی IW است. این تصاویر حمله شده را با I'_{IW} می‌شناسیم.

استخراج داده‌های پنهان‌نگاری شده از تصاویر مورد حمله واقع شده I'_{IW} با استفاده از فرایند استخراج.

- محاسبه ضریب همبستگی نرمال بین اطلاعات پنهان‌شده اصلی W و مجموعه‌ای از اطلاعات استخراج شده.

- ساخت بردار ارزش‌های هدف، (X) که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$F(X) = \left(\frac{1}{NC(I,IW)}, \frac{1}{NC(W,W')}, \dots, \frac{1}{NC(I,W')}, \dots, \frac{1}{NC(I,W'^T)} \right) \quad (4)$$

• ارزیابی بردار ارزش‌های هدف و شناسایی بهترین مسیر مرحله ۴: انتخاب بهترین مورچه به عنوان مورچه‌ای که کمترین مقدار را در تابع (X) F دارد.

مرحله ۵: بهروزرسانی دنباله فرومون. این مرحله شاخص تجمع برای α بعد α م برابر است با:

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m y_i - y'} \quad (5)$$

که در آن y برابر با α مین ستون از ماتریس کلونی C است. y' مقدار میانگین بردار y و m برابر با اندازه کلونی است.

مرحله ۶: ذخیره مقدار Xbest در این نسل و نسل قبلی.

مرحله ۷: اگر شرط خاتمه (تعداد جمعیت) ارضاء شده باشد، الگوریتم خاتمه می‌یابد؛ در غیر این صورت یک نسل جدید ایجاد شده و به مرحله ۳ باز می‌گردد.

۳-۳-۳- الگوریتم بهینه‌سازی زنبور عسل (ABC¹) در پنهان‌نگاری تصاویر

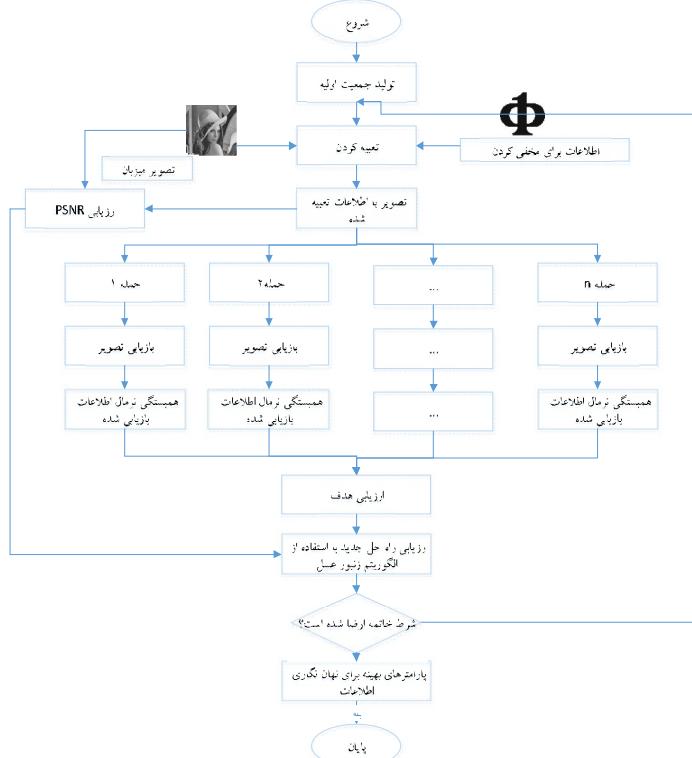
در الگوریتم بهینه‌سازی زنبور، در حالی که زنبورهای ناظر و کارگر به انجام فرایند بهره‌برداری در فضای جستجو مشغول هستند، پیشاهنگان کنترل فرایند اکتشاف را در دست دارند. در مرحله نخست، مجموعه‌ای از منابع غذایی به طور تصادفی $X_{max} = (x_{min,1}, \dots, x_{min,D})$ و $X_{min} = (x_{max,1}, \dots, x_{max,D})$ به صورت معادله زیر حساب می‌شود؛

¹ Artificial bee colony

$f(X_i)$ تابع هدف اندازه‌گیری شده در آمین موقعیت غذایی است.

$$fit_i = \begin{cases} \frac{1}{f(X_i)} & \text{if } f(X_i) \geq 0 \\ 1 + abs(f(X_i)) & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (9)$$

که در آن fit_i تابع برآذش آمین راه حل در فضای مسأله است. SN برایر با تعداد راه حلها یا برابر با تعداد زنبورهای کارگر است. fit_i به صورت زیر محاسبه می‌شود که در آن



(شکل-۲): پنهان‌نگاری تصویر با استفاده از الگوریتم جستجوی فاخته
(Figure-2): Image steganography using the Cuckoo search algorithm

۳-۵- الگوریتم ژنتیک (GA²) در پنهان‌نگاری تصاویر

برای استفاده از الگوریتم ژنتیک لازم است تا ابتدا ماتریس جایگزینی^۳ به فرمت قابل فهم برای الگوریتم تبدیل شود. این فرمت یک بردار G از ژن‌های است. هر درایه این آرایه با سطر مشابه در ماتریس جایگزینی متناظر است. برای مثال درایه شماره صفر با سطر شماره صفر متناظر است. مقادیر داخل خانه‌های آرایه حاوی اندیس ستون‌های استفاده شده در ماتریس است. به این صورت که عدد یک تنها در یکی از خانه‌های هر سطر وجود دارد [27] و [31].

کام‌های مورد استفاده در الگوریتم ژنتیک به شرح زیر است:
۱. ساخت جمعیت اولیه که با روش‌های مختلفی همچون الگوریتم اکتشافی وغیره ایجاد می‌شود.

۴-۳- الگوریتم جستجوی فاخته (CSA) در پنهان‌نگاری تصاویر

مقداردهی جمعیت اولیه توسط مولد عدد تصادفی بین یک و پنجاه انجام می‌شود. اطلاعات موجود برای تعییه‌سازی در فاکتور مقیاس‌پذیری ضرب و در بلوک مربوطه از تصویر میزبان تعییه می‌شود. نحوه اجرای جستجوی فاخته در پنهان‌نگاری با کمک روندمنای شکل (۲) نمایش داده شده است. در مرحله بعد تصویر پنهان‌نگاری شده با چندین حمله رو به رو شده و اطلاعات مخفی شده از این تصاویر بازیابی می‌شود. تابع هدف برای هر تصویر محاسبه و سپس تصویری با بهترین تابع تناسب برای نسل بعدی انتخاب می‌شود. این روند تا ارضی معیار خاتمه الگوریتم ادامه می‌یابد.

² Genetic Algorithm

³ Replacement

^۱ Cuckoo search Algorithm

با استفاده از الگوریتم SA یک جواب همسایه که برای مساله تولید می‌شود. مقدار دلتا و PSNR برای این جواب محاسبه می‌شود. در صورتی که دلتا بزرگ‌تر از صفر باشد، که به عنوان جواب اولیه در نظر گرفته می‌شود؛ در غیر این صورت که با احتمال $e^{-\Delta/T}$ به عنوان پاسخ فعلی انتخاب می‌شود. دمای جدید تنظیم می‌شود و در صورتی که مقدار T صفر نباشد یا تعداد تکرارها از بیشینه تکرارها بیشتر نباشد، دوباره یک جواب همسایه برای این مساله در نظر گرفته می‌شود.

مراحل اعمال الگوریتم SA بر روی مساله پنهان‌نگاری تصاویر به صورت زیر خواهد بود:

مرحله نخست: مقداردهی اولیه برای پاسخ ابتدایی S و همچنین بهترین راه حل یافت (bestsol) برای SA الگوریتم انجام و همچنین یک مقدار اولیه برای دمای T در نظر گرفته شود.

مرحله دوم: یک جواب همسایه S' تولید و ارزش Δ و PSNR آن محاسبه خواهد شد. اگر $\Delta < 0$ باشد، آنگاه S' به عنوان پاسخ فعلی انتخاب شده و اگر PSNR آن از bestsol بزرگ‌تر باشد، bestsol الگوریتم با مقدار جدید به روزرسانی خواهد شد. در غیر این صورت الگوریتم به مرحله بعدی حرکت می‌کند.

مرحله سوم: یک عدد تصادفی با توزیع یکنواخت بین [۰, ۱] تولید می‌شود و در پارامتر r قرار می‌گیرد. اگر $r > e^{-\Delta/T}$ باشد، S' به عنوان پاسخ فعلی معرفی خواهد شد.

مرحله چهارم: درجه حرارت جدید محاسبه شده و در پارامتر T مقداردهی می‌شود.

مرحله پنجم: اگر T^* و یا تکرار تعداد تکرار کمتر از بیشینه تکرارها باشد، به مرحله دوم رفته و در غیر این صورت الگوریتم متوقف و bestsol به دست آمده به عنوان جواب معرفی خواهد شد.

۳-۷- الگوریتم بهینه‌سازی حرکت ذرات (PSO^۵) در پنهان‌نگاری تصاویر

در الگوریتم حرکت ذرات، هر ذره p با $2k$ بعد به صورت $p = p_0 p_1 \dots p_{2k-1}$ نمایش داده می‌شود. که در آن p_0 مکان عدد یک در سطر نخست ماتریس جایگزینی، p_1 مکان عدد یک در سطر نخست ماتریس جایگزینی و ... است. [28] یک ماتریس جایگزینی متناسب با ذره p در شکل (۳) به صورت نمونه مشاهده می‌شود. هر ذره با یک ماتریس جانشینی

⁵ Particle swarm optimization

۲. انتخاب و ترکیب نمونه‌های (آرایه) اولیه برای تولید نمونه جدید.^۱ در مرحله تولید نمونه جدید از ترکیب تصادفی دو پدر برای تولید فرزند جدید استفاده می‌شود. در صورتی که فرزندهای تولیدشده حاوی ژن‌های تکرار شده باشند، این ژن‌ها با مقادیر ژن‌هایی که مورد استفاده قرار نگرفته‌اند، جایگزین می‌شوند. کل مرحله تولید نمونه جدید در یک تکرار ده تایی با ترکیب ده زوج تصادفی انتخاب شده انجام می‌شود.

۳. تغییر نمونه‌های فعلی و ساخت نمونه جدید که هدف اصلی آن جلوگیری از بهینه محلی است. چون در مرحله تولید نمونه جدید ممکن است از نمونه‌های مشابه برای ترکیب استفاده شده باشد.

۴. انتخاب نمونه با بهترین مقدار تناسب^۲ در بین نمونه‌های تولیدشده در این نسل برای تولید نسل بعدی نمونه‌ها تا زمانی که شرط خاتمه ارضا شود. مقدار تناسب با اندازه‌گیری معیارهایی از قبیل PSNR انجام می‌شود. برای بهبود کیفیت تصویر تولیدشده از روش بهبود پیونددۀ مجدد مسیر^۳ استفاده شده است. روش کار با انتخاب دو راه حل از بین فهرست راهکارهای موجود انتخاب شده است. در مخفی‌سازی تصاویر از این روش می‌توان بدین صورت استفاده کرد که پس از هر اجرای الگوریتم ژنتیک که تعداد ده تا از بهترین آرایه‌ها انتخاب می‌شوند و به طور تصادفی در گروههای دوتایی تقسیم می‌شوند، در هر گروه یکی از نمونه‌ها نقطه شروع و دیگری راهنمای باشد. این روش پس از هر اجرای الگوریتم ژنتیک تعداد ده تا از بهترین آرایه‌ها را انتخاب کرده و به طور تصادفی در گروههای دوتایی تقسیم می‌شوند، در هر گروه یکی از نمونه‌ها نقطه شروع و دیگری راهنمای باشد.

۳-۶- الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده (SA⁴) در پنهان‌نگاری تصاویر

در حل مساله رمزنگاری تصاویر می‌توان بدین صورت عمل کرد که n جمعیت مطلوب نهایی را در این الگوریتم به عنوان پاسخ اولیه S برای الگوریتم SA در نظر گرفت. همچنین یک مقدار اولیه برای دما در نظر گرفته خواهد شد. در مرحله بعد

¹ Crossover

² fitness

³ PATH RELINKING REFINEMENT

⁴ Simulated Annealing

- تعبیه‌سازی متن در تصویر انجام شود.
- اعمال حمله شناسایی اطلاعات پنهان‌نگاری شده از مجموع T حمله انتخاب شده به تصویر پنهان‌نگاری شده. این امر منجر به T تصاویر پنهان‌نگاری حمله شده متفاوت برای هر تصویر پنهان‌نگاری شده اصلی می‌شود.
- استخراج داده‌های پنهان‌نگاری شده از تصاویر مورد حمله واقع شده با استفاده از فرایند استخراج.
- محاسبه تابع برازش PSNR برای هر تصویر و مقداردهی به تابع برازش مربوط به هر کرم شب‌تاب مرحله سوم: بهروزسانی مکان هر کرم شب‌تاب با استفاده از تابع برازش بدست آمده.
- مرحله چهارم: تکرار مرحله‌های دوم و سوم تا دست‌یابی به بیشینه تعداد حلقه‌ها.

۴- پیاده‌سازی روش پیشنهادی

در این پژوهش از تصاویر رنگی JPEG استاندارد در حوزه برازش تصویر که دارای طیف رنگی غنی (هر سه پایه RGB) هستند، استفاده شده است. از میان تصاویر استاندارد به کار رفته در مقاله‌های پنهان‌نگاری از جمله منابع [25] و [26] تصاویر شکل (۴) جهت اعمال الگوریتم‌ها و ارزیابی انتخاب شده‌اند.

شبیه‌سازی‌ها در محیطی با پردازنده Intel® Core™ i7 CPU @2.3 GHz و با حافظه ۶ RAM گیگابایت اجرا شده و سیستم عامل مورد استفاده Windows 7 Ultimate 64Bit است.



(شکل-۴): تصاویر استفاده شده در این پژوهش
(Figure-4): Images used in this research

۴-۱- اعمال الگوریتم‌های فرآبتكاری به صورت جداگانه

در این بخش پارامترها و نتایج اعمال الگوریتم‌های فرآبتكاری به صورت جداگانه شرح داده شده است.

همسان است؛ بنابراین، هر ذره با بهترین مقدار تابع تناسب به ماتریس جانشینی که می‌تواند تصویر پنهان‌نگاری شده را تولید کند، برابر است. هر ذره p باید یک بردار از اعداد صحیح در محدوده صفر تا $2K-1$ باشد.

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad \{0 \ 1 \ 3 \ 2\}$$

(شکل-۳): نگاشت ذره p باید یک بردار از اعداد صحیح در محدوده ۰ تا $2K-1$ باشد

(Figure-3): The particle mapping p must be a vector of integers in the range 0 to $2K-1$

شرح نحوه جستجو یک ماتریس جایگزینی از طریق الگوریتم PSO به صورت زیر خواهد بود:

مرحله ۱: مقدار دهی اولیه. به طور تصادفی K ذره اولیه تولید می‌شود. به هر ذره سرعت تصادفی Vi منتبث می‌شود. محاسبه PSNR برای هر ذره انجام شده و $gbest$ را با مکان بهترین ذره که حاوی بالاترین مقدار PSNR است، مقداردهی می‌کنیم. در ادامه الگوریتم برای هر ذره داریم:

مرحله ۲: بهروزسانی سرعت و موقعیت هر یک از ذرات با استفاده از معادلات معروفی شده در فصل دوم.

مرحله ۳: محاسبه نتیجه نگاشت ذره z ام و سپس استنتاج PSNR مربوطه و بررسی اینکه این از مقدار مربوط به $gbest$ بیشتر است یا خیر. در صورت بزرگ‌تر بودن، مقدار $gbest$ با مکان ذره z ام بهروزسانی می‌شود.

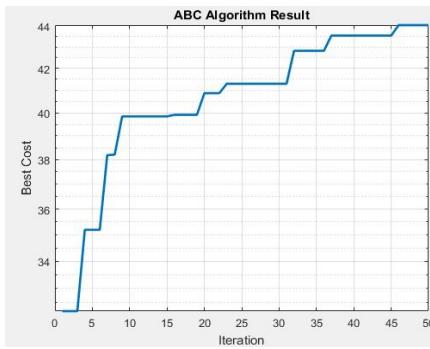
مرحله ۴: اگر تعداد تکرارها از بیشینه تعداد تکرارها کوچکتر است، به مرحله دوم رفته و در غیر این صورت الگوریتم خاتمه یافته و بهترین خروجی را به عنوان نتیجه نهایی معرفی می‌کند.

۳-۸- الگوریتم کرم شب‌تاب (Firefly) در پنهان‌نگاری تصاویر

مراحل اعمال الگوریتم کرم شب‌تاب در مسئله پنهان‌نگاری تصاویر به قرار زیر است:

مرحله نخست: مقداردهی اولیه 11 کرم شب‌تاب به صورت تصادفی که در آن هر کرم شب‌تاب یک ردیف از ماتریس به اندازه $m*m$ است. اندازه این ماتریس به اندازه محتوای مد نظر برای پنهان‌نگاری است.

مرحله دوم: برای هر کرم شب‌تاب z از جمعیت کرم‌های شب‌تاب داریم:



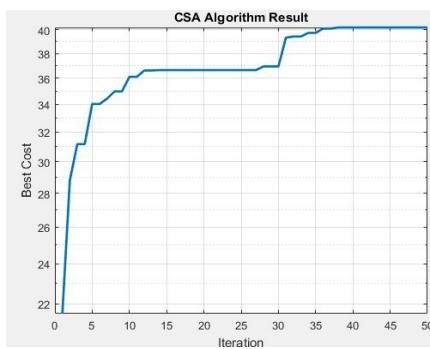
(شکل-۶): نمودار افزایش مقدار PSNR در تکرارهای مختلف اجرای الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچه (Figure-6): Diagram of PSNR increment in different repetitions of the Bee algorithm in the Lena image

(جدول-۳): پارامترهای مورد استفاده در الگوریتم بهینه‌سازی زنبور عسل

(Table-3): Parameters used in the bee optimization algorithm

مقدار	توصیف	پارامتر
20	تعداد زنبورهای ناظر	n
10	تعداد مکان‌های انتخاب شده از مکان‌های بازدید شده	m
5	تعداد بهترین مکان‌ها از مکان‌های انتخاب شده	e
6	تعداد زنبورهای تازه نفس برای بهترین مکان‌ها	nep
4	تعداد زنبورهای استخدام شده برای سایر نقاط	t
50	تعداد تکرار	loop

(۳-۱-۴)- اعمال الگوریتم فراابتکاری جستجوی فاخته شکل (۷) نحوه تغییر مقدار PSNR در اعمال الگوریتم فراابتکاری جستجوی فاخته را بر روی تصویر لنا نشان می‌دهد.



(شکل-۷): نمودار افزایش PSNR در تکرارهای مختلف اجرای الگوریتم بهینه‌سازی جستجوی فاخته در تصویر لنا (Figure-7): Diagram of PSNR increment in different repetitions of the Cuckoo search optimization algorithm in the Lena image

از آنجا که مسئله مورد بررسی، مسئله پیچیده‌ای است و بدهتمال نقاط بهینه محلی و عموم متعددی داشته باشد و

۱-۱-۴- اعمال الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچه

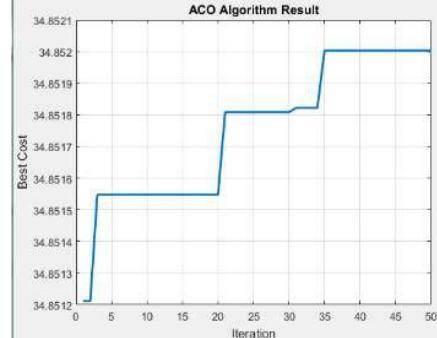
جدول (۲) نشان‌دهنده نحوه تنظیم پارامترها در الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچه است که مورد استفاده قرار گرفته است.

(جدول-۲): پارامترهای مورد استفاده در الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچه

(Table-2): Parameters used in ant colony optimization algorithm

مقدار	توصیف	پارامتر
6	تعداد کل مورچه‌ها	m
0.5	مقدار اولیه فرومون	τ_0
2	غلظت فرومون	τ
1	وزن غلظت فرومون	α
1	ارزش تجربی	β
0.7	ارزش تجربی	η
21	تعداد سفرهای بازگشت	T
0.7	پارامتر از تبیخ فرومون	ρ
0.2	پارامتر عدد تصادفی	Q0
50	تعداد تکرار	loop

در شکل (۵) نتایج حاصل از اعمال روش ACO بر روی تصویر لنا قابل مشاهده است. همچنین طبق نتایج بهدست‌آمده در جدول (۹)، در مقایسه روش LSB و ACO بهینه‌سازی کلونی مورچه از دقت زیادی توسط روش پیشنهادی بهبود یافته است؛ بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که الگوریتم ACO قادر به پیدا کردن یک ماتریس جانشینی خوب مؤثر است.

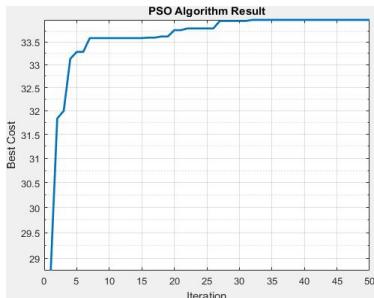


(شکل-۵): نمودار افزایش PSNR در تکرارهای مختلف اجرای الگوریتم ACO در تصویر لنا (Figure-5): Diagram of PSNR increment in different repetitions of the ACO algorithm in the Lena image

۱-۱-۲- اعمال الگوریتم فراابتکاری زنبور عسل

شکل (۶) نحوه تغییر مقدار PSNR را در اعمال الگوریتم بهینه‌سازی زنبور بر روی تصویر لنا نشان می‌دهد. نتایج تکمیلی در جدول (۹) آمده است. پارامترهای این الگوریتم طبق جدول (۳) تنظیم شده‌اند.

۴-۱-۵- اعمال الگوریتم فرالبتکاری حرکت ذرات
 شکل (۹) نحوه تغییر مقدار PSNR در اعمال الگوریتم فرالبتکاری حرکت ذرات را بر روی تصویر لنا نشان می‌دهد.
 پارامترهای مورد استفاده در الگوریتم بهینه‌سازی حرکت ذرات در جدول (۶) نمایش داده شده است.



(شکل-۹): نمودار افزایش مقدار PSNR در تکرارهای مختلف اجرای الگوریتم بهینه‌سازی حرکت ذرات در تصویر لنا

(Figure-9): Diagram of PSNR increment in different repetitions of the Particle Swarm optimization algorithm in the Lena image

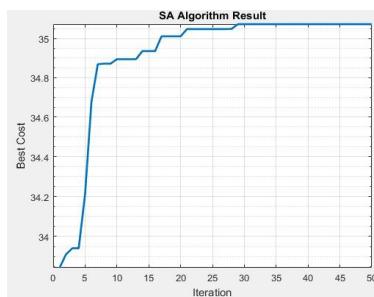
جدول-۶: پارامترهای مورد استفاده در الگوریتم بهینه‌سازی حرکت ذرات

(Table-6): Parameters used in the Particle Swarm Optimization algorithm

مقدار	توصیف	پارامتر
1	تعداد پارامترهای تصمیم‌گیری	nVar
1000	ماکریم تعداد حلقه‌ها	MaxIt
1	وزن اولیه	w
0.99	ضریب تغییر وزن	wdamp
1.5	ترخ بادگیری شخصی	c1
2	ترخ یادگیری عمومی	c2
[-4, 4]	سرعت کمینه و بیشینه	[Vmin, Vmax]

۴-۱-۶- اعمال الگوریتم فرالبتکاری تبرید شبیه‌سازی شده

شکل (۱۰) نحوه تغییر مقدار PSNR در اعمال الگوریتم فرالبتکاری تبرید شبیه‌سازی شده را بر روی تصویر لنا نشان می‌دهد.



(شکل-۱۰): نمودار افزایش PSNR در تکرارهای مختلف اجرای الگوریتم تبرید شبیه‌سازی شده در تصویر لنا

(Figure-10): Diagram of PSNR increment in different repetitions of the Simulated Annealing algorithm in the Lena image

با توجه به مطالبی که بیان شد، تعداد لانه‌های الگوریتم‌های پیاده‌سازی ۷۵ لانه در نظر گرفته شده است. مقدار پارامتر β که برای محاسبه اندازه گام‌های تصادفی لوى برابر $1/5$ فرض شده است. بیشینه تعداد تکرارها به پنجاه تکرار است. پارامترهای این الگوریتم طبق جدول (۴) تنظیم شده‌اند.

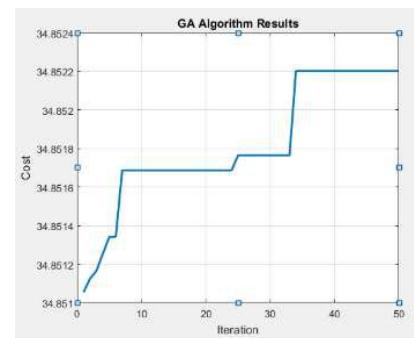
(جدول-۴): پارامترهای مورد استفاده در الگوریتم بهینه‌سازی جستجوی فاخته

(Table-4): Parameters used in Cuckoo Search Optimization Algorithm

مقدار	توصیف	پارامتر
1	احتمال شناسایی تخم‌های فاخته	Pa
0.25	انتقال لانه به مکان جدید	a
75	تعداد لانه‌ها	n
1.5	اندازه گام‌های تصادفی	β
50	تعداد تکرار	loop

۴-۱-۴- اعمال الگوریتم فرالبتکاری ژنتیک

شکل (۸) نحوه تغییر مقدار PSNR را در اعمال الگوریتم فرالبتکاری ژنتیک را بر روی تصویر لنا نشان می‌دهد.



(شکل-۸): نمودار افزایش PSNR در تکرارهای مختلف اجرای الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک در تصویر لنا

(Figure-8): Diagram of PSNR increment in different repetitions of the Genetic algorithm in the Lena image

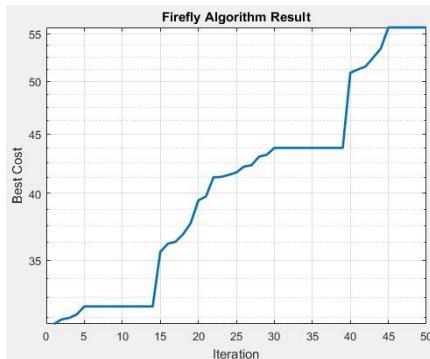
پارامترهای تنظیم شده در اجرای الگوریتم مذکور، در جدول (۵) درج گردیده است.

(جدول-۵): پارامترهای مورد استفاده در الگوریتم ژنتیک

(Table-5): Parameters Used in the Genetic Algorithm

مقدار	توصیف	پارامتر
100	اندازه جمعیت	nPop
1000	تعداد نسل‌ها	n_gen
(مقدار اولیه) 10	بردار وزن	λ
0.8	درصد تقاطع یا CrossOver	rp
0.5	درصد جهش یا Mutation	mu

بهینه بدهست می آید. پارامترهای این الگوریتم طبق جدول (۸) تنظیم شده اند.



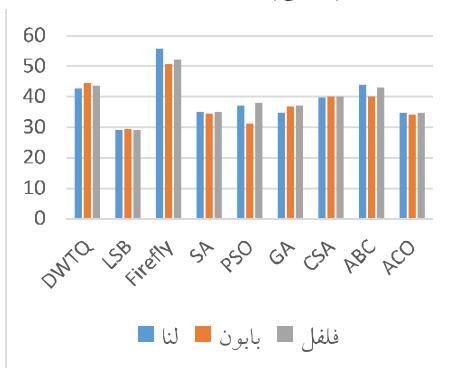
(شکل-۱۱): نمودار افزایش PSNR در تکرارهای مختلف اجرای الگوریتم کرم شب تاب در تصویر لنا

(Figure-11): Diagram of PSNR increment in different repetitions of the Firefly algorithm in the Lena image

۴-۲- شناسایی الگوریتم های برتر

در این مرحله پس از پیاده سازی تمامی روش های ابتکاری به کار رفته در حوزه پنهان نگاری تصاویر، لازم است تا از میان هفت الگوریتم پیاده سازی شده، سه الگوریتمی را که نتایج بهتری را بر روی داده ها نشان داده اند، برای مرحله بعدی شبیه سازی ها شناسایی کنیم. نتایج به دست آمده از مقایسه PSNR بر روی تصاویر مختلف در الگوریتم های مورد بررسی در این مقاله در جدول (۹) نمایش داده است.

نمودار شکل (۱۲) به مقایسه PSNR به دست آمده از اجرای این الگوریتم ها می پردازد.



(شکل-۱۲): مقایسه PSNR به دست آمده از اعمال الگوریتم های ابتکاری

(Figure 12): Compar the PSNR obtained by applying the heuristic algorithms

همان طور که در این تصویر نشان داده شده است، الگوریتم کرم شب تاب بهترین نتیجه را در میان تمامی الگوریتم ها داشته است. به منظور شناسایی بهتر الگوریتم های

جدول (۷) پارامترهای به کار رفته در الگوریتم تبرید شبیه سازی شده را نشان می دهد. نتایج نشان می دهد که روش پیشنهادی می تواند در بهبود کیفیت تصویر مؤثر باشد.

(جدول-۷): پارامترهای مورد استفاده در الگوریتم تبرید شبیه سازی شده

(Table-7): Parameters used in Simulated Annealing algorithm

پارامتر	توصیف	مقدار
nPop	اندازه جمعیت	100
nVar	تعداد پارامترهای تصمیم گیری	4
MaxIt	ماکریزم تعداد حلقه ها	50
MIPTemp	ماکریزم تعداد حلقه ها به ازای هر دما	2
nMove	تعداد همسایه های تولید شده در هر تکرار	2
T0	دما اولیه	0
RRT	ضریب تغییر دما	0.9
loop	تعداد تکرار	100

۴-۱-۷- اعمال الگوریتم فراباتکاری کرم شب تاب

در این مرحله به اجرای الگوریتم کرم شب تاب در مسئله پنهان نگاری تصاویر می پردازیم. نحوه کار بدین صورت است که پس از تولید جمعیت اولیه، پارامترهای اولیه α و β را که در جدول (۸) به تفسیر آمده است، مقداردهی می کنیم.

(جدول-۸): پارامترهای مورد استفاده در الگوریتم کرم شب تاب

(Table-8): Parameters used in the firefly algorithm

پارامتر	توصیف	مقدار
n	اندازه جمعیت (تعداد پارامترهای درخواست)	100
MaxIt	بیشینه تعداد حلقه ها	50
α	پارامتر تصادفی سازی	0.5
β	میزان جذبیت	0.2
r _{ij}	فاصله بین دو کرم i و j	طبق فرمول
I	تغییرات شدت نور	طبق فرمول
λ	ضریب جذب نور	1

هدف ما در این الگوریتم بهینه کردن مقدار PSNR در پنهان نگاری تصاویر است. شکل (۱۱) نحوه تغییر مقدار PSNR در اعمال الگوریتم فراباتکاری کرم شب تاب را بر روی تصویر لنا نشان می دهد.

تا زمانی که تعداد تکرارها از حد آستانه کمتر است، برای تمامی جمعیت کرم شب تاب، جمعیت به سمت کرم شب تاب با مقدار PSNR بهتر حرکت خواهد کرد. جذبیت هر کرم شب تاب به صورت معکوس با افزایش میزان فاصله کاهش خواهد یافت؛ بنابراین بر اساس مقادیر جدید برای مکان قرار گیری کرم ها، توابع هدف برای جمعیت موجود به روزرسانی می شود. در انتهای هر حلقه، تمامی کرم های شب تاب بر اساس تابع هدف PSNR مرتب شده و پاسخ

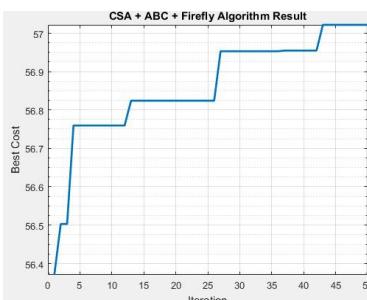
طبق نتایج بدست آمده، سه الگوریتم برتر عبارت اند از الگوریتم کرم شب تاب، الگوریتم فراباتکاری زنبور عسل و الگوریتم فراباتکاری جستجوی فاخته.

۴-۳- ترکیب نتایج الگوریتم های بهینه
تا اینجا به انتخاب سه الگوریتمی پرداخته شد که دارای بالاترین مقدار PSNR و تابع هدف تعریف شده هستند. این سه الگوریتم عبارتند از الگوریتم کرم شب تاب، الگوریتم فراباتکاری زنبور عسل و الگوریتم فراباتکاری جستجوی فاخته. از آنجایی که از میان روش های اعمال شده، الگوریتم کرم شب تاب بهترین نتیجه را داشته است، زین پس برای مقایسه نتایج بدست آمده از نتایج الگوریتم کرم شب تاب استفاده می کنیم.

(جدول-۹): نتایج بدست آمده از مقایسه PSNR بر روی تصاویر مختلف در الگوریتم های مورد بررسی در این مقاله

(Table -9): Results obtained from comparison of PSNR on different images in the algorithms studied in this paper.

نام تصویر	ACO	ABC	CSA	GA	PSO	Firefly	SA
لنا	34.58	44.020	39.68	$\lambda=10$ 34.851	37.06	55.72	35.13
				$\lambda=30$ 34.19			
بابون	34.25	40.0256	40.15	$\lambda=10$ 36.92	31.28	50.76	34.35
				$\lambda=30$ 36.01			
فلفل	34.55	43.022	40.01	$\lambda=10$ 37.21	38.02	52.159	34.86
				$\lambda=30$ 36.74			
میانگین	34.46	42.35	39.94	-	35.98	35.45	52.87
							34.78



(شکل-۱۵): اعمال الگوریتم جستجوی فاخته بر روی نتایج به دست آمده الگوریتم زنبور عسل

(Figure-15): Applying the Cuckoo Search Algorithm to the Results of the Bee Algorithm

• ترکیب شماره ۲: کرم شب تاب، جستجوی فاخته، زنبور عسل

طبق ترتیب گفته شده، که در ابتدا الگوریتم کرم شب تاب اعمال و در مرحله بعدی به ترتیب الگوریتم های جستجوی فاخته و زنبور عسل اعمال می شوند. در شکل های (۱۶) و (۱۷) نحوه تأثیر گذاری دو الگوریتم ابتکاری دیگر بر روی مسئله پنهان نگاری تصویر نشان داده شده است.

تأثیر گذار، میانگین PSNR بدست آمده بر روی همه تصاویر فلفل، بابون و لنا در شکل (۱۳) آمده است.



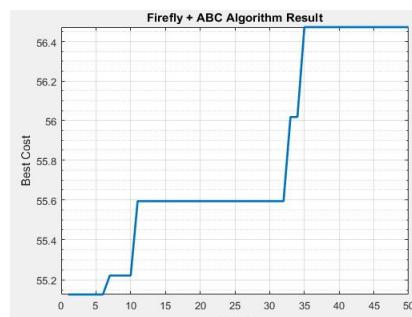
(شکل-۱۳): مقایسه میانگین مقدار PSNR بر روی

هر سه تصویر مورد بررسی

(Figure-13): Comparison of the mean value of the PSNR on all three images

ترکیب شماره ۱: کرم شب تاب، زنبور عسل، جستجوی فاخته

طبق ترتیب گفته شده، در ابتدا الگوریتم کرم شب تاب اعمال و در مرحله بعدی به ترتیب الگوریتم های زنبور عسل و جستجوی فاخته اعمال می شوند. در شکل های (۱۴) و (۱۵) تأثیر گذاری دو الگوریتم ابتکاری دیگر بر روی مسئله پنهان نگاری تصویر نشان داده شده است.

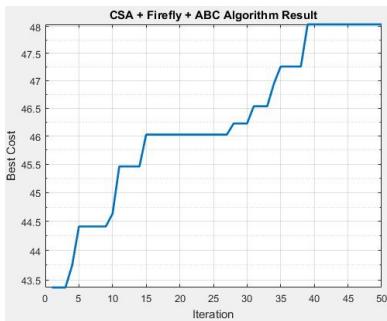


(شکل-۱۴): اعمال الگوریتم زنبور عسل بر روی نتایج به دست آمده الگوریتم کرم شب تاب

(Figure-14): Applying the Bee Algorithm on the Results of the Firefly Algorithm

فصلنامه
پژوهش در زمینه های
علوم انسانی



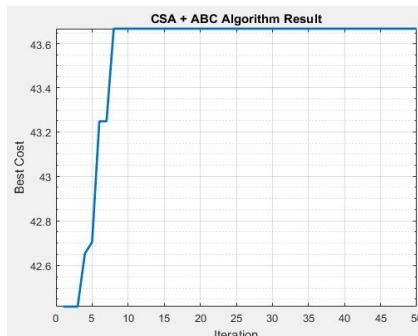


(شکل-۱۹): اعمال الگوریتم زنبور عسل بر روی نتایج بهدست آمده الگوریتم کرم شب تاب و جستجوی فاخته در تصویر لنا

(Figure-19): Applying the Bee Algorithm on the Results of the Firefly Algorithm and Cuckoo Search in the Lena Image

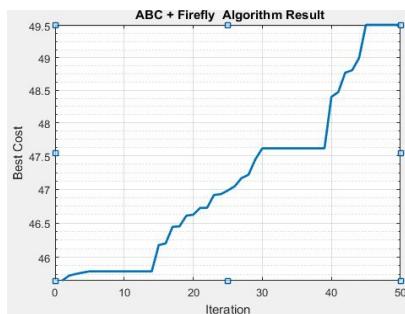
• ترکیب شماره ۴: جستجوی فاخته، زنبور عسل، کرم شب تاب

طبق ترتیب گفته شده، که در ابتدا الگوریتم جستجوی فاخته اعمال و در مرحله بعدی به ترتیب الگوریتم‌های زنبور عسل و کرم شب تاب اعمال می‌شوند. در شکل‌های (۲۰) و (۲۱) نحوه تأثیرگذاری دو الگوریتم ابتکاری دیگر بر روی مسأله پنهان‌نگاری تصویر نشان داده شده است.



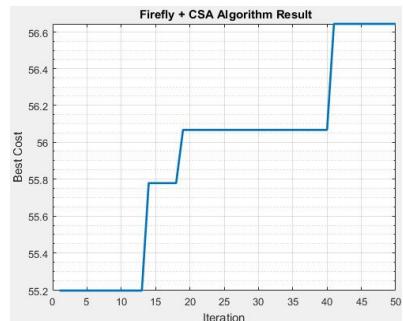
(شکل-۲۰): اعمال الگوریتم زنبور عسل بر روی نتایج بهدست آمده الگوریتم جستجوی فاخته در تصویر لنا

(Figure-20): Applying the Bee Algorithm on the Results of the Cuckoo Search Algorithm in the Lena Image



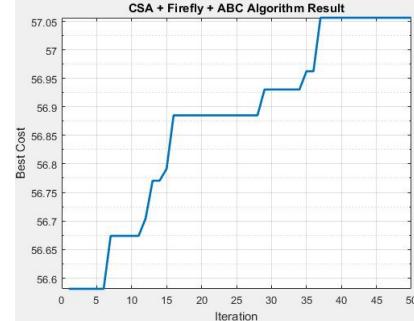
(شکل-۲۱): اعمال الگوریتم کرم شب تاب بر روی نتایج بهدست آمده الگوریتم زنبور عسل در تصویر لنا

(Figure-21): Applying the firefly algorithm on the results obtained from the bee algorithm in the Lena image



(شکل-۱۶): اعمال الگوریتم جستجوی فاخته بر روی نتایج بهدست آمده الگوریتم کرم شب تاب

(Figure-16): Applying the Cuckoo Search Algorithm to the Results of the Firefly Algorithm

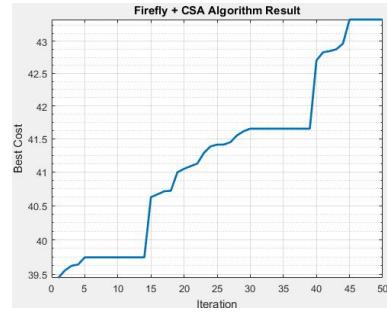


(شکل-۱۷): اعمال الگوریتم زنبور عسل بر روی نتایج بهدست آمده الگوریتم جستجوی فاخته

(Figure-17): Applying the Bee Algorithm on the Results of the Cuckoo Search Algorithm

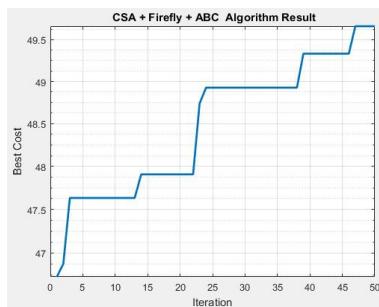
• ترکیب شماره ۳: جستجوی فاخته، کرم شب تاب، زنبور عسل

طبق ترتیب گفته شده، در ابتدا الگوریتم جستجوی فاخته اعمال و در مرحله بعدی به ترتیب الگوریتم‌های کرم شب تاب و زنبور عسل اعمال می‌شوند. در شکل‌های (۱۸) و (۱۹) نحوه تأثیرگذاری دو الگوریتم ابتکاری دیگر بر روی مسأله پنهان‌نگاری تصویر نشان داده شده است.



(شکل-۱۸): اعمال الگوریتم کرم شب تاب بر روی نتایج بهدست آمده الگوریتم جستجوی فاخته

(Figure-18): Applying the firefly algorithm on the results obtained from the Cuckoo search algorithm



(شکل-۲۵): اعمال الگوریتم فاخته بر روی نتایج به دست آمده

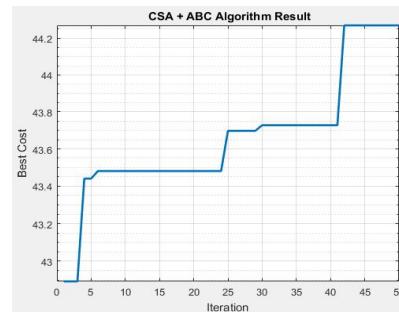
الگوریتم کرم شب تاب در تصویر لنا
(Figure-25): Applying the Cuckoo Algorithm to the Results of the Firefly Algorithm in the Lena Image

• ترکیب شماره ۶: زنبور عسل، کرم شب تاب، جستجوی فاخته

طبق ترتیب گفته شده، که در ابتدا الگوریتم زنبور عسل اعمال و در مرحله بعدی به ترتیب الگوریتم های جستجوی فاخته و کرم شب تاب اعمال می شوند. در شکل های (۲۴) و (۲۵) نحوه تأثیرگذاری دو الگوریتم ابتکاری دیگر را بر روی مسئله پنهان نگاری تصویر نشان داده شده است.

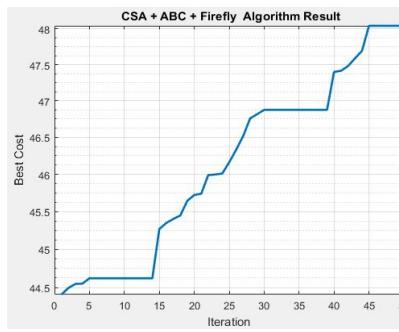
ترکیب شماره ۵: زنبور عسل، جستجوی فاخته، کرم شب تاب

طبق ترتیب گفته شده، که در ابتدا الگوریتم زنبور عسل اعمال و در مرحله بعدی به ترتیب الگوریتم های جستجوی فاخته و کرم شب تاب اعمال می شوند. در شکل های (۲۲) و (۲۳) نحوه تأثیرگذاری دو الگوریتم ابتکاری دیگر بر روی مسئله پنهان نگاری تصویر نشان داده شده است.



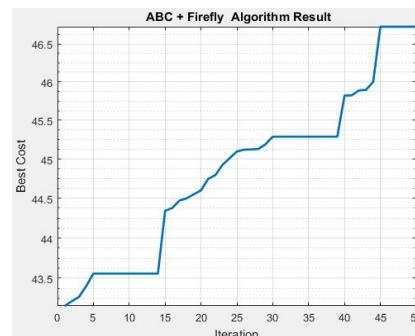
(شکل-۲۲): اعمال الگوریتم فاخته بر روی نتایج به دست آمده الگوریتم زنبور عسل در تصویر لنا

(Figure-22): Applying the Cuckoo Algorithm to the Results of the Bee Algorithm in the Lena Image



(شکل-۲۳): اعمال الگوریتم کرم شب تاب بر روی نتایج به دست آمده الگوریتم فاخته در تصویر لنا

(Figure-23): Applying the firefly algorithm on the results obtained from the Cuckoo algorithm in the Lena image



(شکل-۲۴): اعمال الگوریتم کرم شب تاب بر روی نتایج به دست آمده الگوریتم زنبور عسل در تصویر لنا

(Figure-24): Applying the firefly algorithm on the results obtained from the Bee algorithm Lena image



۵- نتایج و ارزیابی

شکل (۲۶) به مقایسه PSNR به دست آمده از شش مرحله قبل بر روی تصاویر مختلف می پردازد.

(شکل-۲۶): مقایسه مقدار PSNR در شش مرحله تعریف شده
(Figure-26): Compare the PSNR value in the six defined steps

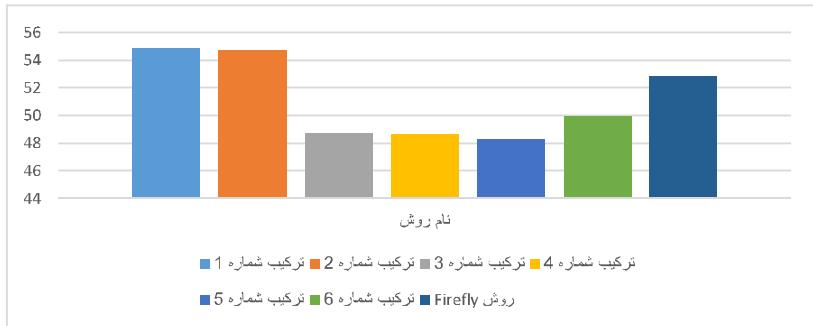
شکل (۲۷) به مقایسه میانگین PSNR به دست آمده در ترکیب های مورد بررسی می پردازد. نتایج درج شده در جدول (۱۰)، نشان می دهد که ترکیب شماره یک که حاصل از ترکیب به ترتیب الگوریتم های کرم شب تاب، زنبور عسل و جستجوی فاخته است، بهترین نتایج را در رسیدن به هدف برنامه ایجاد می کند که این ترکیب، میانگین نسبت سیگنال به نویه برابر ۵۴/۸۹ را فراهم کرده است.

ترکیب یادشده در مقایسه با الگوریتم های انفرادی بررسی شده بهینه سازی کلونی مورچه، زنبور عسل، جستجوی فاخته، ژنتیک، حرکت ذرات، تبرید شبیه سازی

پژوهش‌های دیگر مقایسه شده است [32]، [33]، [34]، [35]. همان‌طور که مشاهده می‌شود، روش پیشنهادی در مقایسه با روش‌های یادشده، بیشترین میزان PSNR را حاصل کرده است.

شده، کرم شبتاب، بهترتیب به میزان ۵۹/۲۹، ۵۹/۶۱، ۳۷/۴۳، ۳۸/۴۲، ۵۴/۸۴، ۵۲/۵۶ مقدار PSNR را ارائه می‌کند.

در جدول (۱۱)، مقدار PSNR پس از اعمال روش پیشنهادی و سایر روش‌های اعمال شده بر روی تصویر لنا در



(شکل-۲۷): مقایسه میانگین PSNR در روش‌های مورد بررسی
(Figure-27): Comparison of the mean PSNR in the investigated methods

جدول-۱۰): مقدار PSNR پس از اعمال ترکیب‌های مختلف بر روی تصاویر
(Table-10): The amount of PSNR after applying different combinations on the images

نام تصویر	ترکیب ۱ شماره ۱	ترکیب ۲ شماره ۲	ترکیب ۳ شماره ۳	ترکیب ۴ شماره ۴	ترکیب ۵ شماره ۵	ترکیب ۶ شماره ۶	Firefly
لنا	57.12	57.02	48.03	49.5	48.01	49.6	55.72
بابون	53.04	53.1	49.3	49.18	48.1	50.18	50.76
فلل	54.52	54.23	49.068	49.16	48.9	50.09	52.159
میانگین	54.89	54.78	48.80	49.28	48.34	49.96	52.88

جدول-۱۱): مقایسه مقدار PSNR پس از اعمال روش‌های مختلف بر روی تصویر لنا در پژوهش‌های مختلف
(Table-11): Compare the amount of PSNR after applying different methods to the Lena image in different research

الگوریتم‌های مختلف	روش پیشنهادی	Wang	Yang	Liao	Mehdi	Zhaotong
میزان PSNR پس از اعمال الگوریتم روی تصویر لنا	57.12	44.1	38.24	41.48	39.09	42.74

مختلف آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. سه الگوریتم انتخاب شده عبارت‌اند از الگوریتم کرم شبتاب، الگوریتم جستجوی فاخته و الگوریتم بهینه‌سازی زنبور عسل با میانگین PSNR بهترتیب ۵۲/۸۷، ۴۲/۳۵ و ۳۹/۹۴. نتایج نشان می‌دهد که ترکیب شماره یک که حاصل از ترکیب بهترتیب الگوریتم‌های کرم شبتاب، زنبور عسل و جستجوی فاخته است با مقدار PSNR برابر با ۵۴/۸۹ بهترین نتایج را در رسیدن به پاسخ بهینه در مقایسه با ترکیب‌های شماره ۲، ۳، ۴، ۵، ۶ با میانگین PSNR بهترتیب ۵۴/۷۸، ۴۹/۸۰، ۴۹/۸۰ و ۴۹/۹۶ فراهم می‌کند.

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک روش مقاوم با درجه امنیتی بالا برای پنهان‌نگاری تصاویر ارائه شد. روش پیشنهادی در رمزنگاری تصاویر به منظور بهبود مقدار PSNR و دستیابی به ماتریس جایگزینی بهینه از الگوریتم‌های فرا ابتکاری استفاده می‌کند. ابتدا الگوریتم‌های معروف فرا ابتکاری در رمزنگاری تصاویر مورده استفاده قرار گرفته‌اند و به تنها یکی بر روی داده‌های موجود اعمال شدند؛ پس از آن الگوریتم‌ها با توجه به بهترین PSNR به دست آمده مرتب شدند. سه الگوریتمی که بهترین مقدار PSNR را دارند، برای مرحله بعد انتخاب و ترکیب‌های

- [10] F. Sadeghi, M. K. Rafsanjani, and F. Z. Kermani, "Hiding Information in Image by Compound Meta-Heuristic Algorithm PSO-SA," *Int. J. Compute Sci. Artif. Intell.*, vol. 3, no. 4, p. 125, 2013.
- [11] K. Akshyata and I. Jain, "Data Hiding and Security using Steganography", *International Journal of Engineering and Management Research*, 2017.
- [12] E. T. Zghaer and S. H. Hashem, "Ant Colony Optimization To Enhance Image Steganography", *International Journal of Emerging Trends and Technology in Computer Science (IJETTCS)*, 2017.
- [13] A. Miri, K. Faez, "Adaptive image steganography based on transform domain via genetic algorithm", *Optik*, vol. 145, pp.158-168.
- [14] K. Loukhaoukha, J.-Y. Chouinard, and M. H. Taieb, "Optimal image watermarking algorithm based on LWT-SVD via multi-objective ant colony optimization," *J. Inf. Hiding Multimed. Signal Process.*, vol. 2, no. 4, pp. 303–319, 2011.
- [15] J. S. Lee, J.-W. Wang, and K.-Y. Giang, "A new image watermarking scheme using multi-objective bees algorithm," *Appl. Math. Inf. Sci.*, vol. 8, no. 6, p. 2945, 2014.
- [16] F. G. Mohammadi and M. S. Abadch, "Image steganalysis using a bee colony based feature selection algorithm," *Eng. Appl. Artif. Intell.*, vol. 31, pp. 35–43, 2014.
- [17] M. Ali and C. W. Ahn, "An optimal image watermarking approach through cuckoo search algorithm in wavelet domain," *Int. J. Syst. Assur. Eng. Manag.*, pp. 1–10, 2014.
- [18] Y. H. Chen and H. C. Huang, "Reversible Image Watermarking Based on Genetic Algorithm," in *Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing (IIFI-MSP), 2014 Tenth International Conference on*, 2014, pp. 21–24.
- [19] a L. Brazil, a Sanchez, a Conci, and N. Bchilovic, "Hybridizing genetic algorithms and path relinking for steganography," *ELMAR 2011 Proc.*, no. September, pp. 285–288, 2011.
- [20] M. Nosrati, A. Hanani, and R. Karimi, "Steganography in Image Segments Using Genetic Algorithm," in *2015 Fifth International Conference on Advanced Computing Communication Technologies*, 2015, pp. 102–107.
- [21] B. Lei, F. Zhou, E.-L. Tan, D. Ni, H. Lei, S. Chen, and T. Wang, "Optimal and secure audio watermarking scheme based on self-adaptive particle swarm optimization and quaternion wavelet transform," *Signal Processing*, vol. 113, pp. 80–94, 2015.

ترکیب گفته شده در مقایسه با الگوریتم های انفرادی بررسی شده بهینه سازی کلونی مورچه، زنبور عسل، جستجوی فاخته، ژنتیک، حرکت ذرات، تبرید شبیه سازی شده، کرم شب تاب، به ترتیب به میزان ۵۹/۲۹، ۳۷/۴۳، ۵۲/۵۶، ۵۷/۸۲ و ۳/۸۲ درصد بهبود در مقدار PSNR را ارائه می کند.

7- References

۷- مراجع

- [۱] شمع علیزاده بایی محمدعلی، "بررسی الگوریتم های مخفی سازی پیام در نهان نگاری تصویر و طراحی الگوریتمی کارآمد"، مهندسی شناورهای تندرو، شماره ۵۲، صفحات ۴۲-۳۰، ۱۳۹۷.
- [۲] M. SH. Alizadeh, "Evaluation of message hiding algorithms in image steganography and efficient algorithm design", *High Speed Craft*, Vol. 52, pp. 42-30, 2018.
- [۳] X. Zhang, Z. Zhao, and J. Wang, "Chaotic image encryption based on circular substitution box and key stream buffer", *Signal Process. Image Commun.*, vol. 29, no. 8, pp. 902–913, 2014.
- [۴] M. Hussain and M. Hussain, "A Survey of Image Steganography Techniques," vol. 54, pp. 113–124, 2013.
- [۵] A.Benoraira, K. Benmohammed, and N. Boucenna, "Blind image watermarking technique based on differential embedding in DWT and DCT domains," *EURASIP J. Adv. Signal Process.*, vol. 2015, no. 1, pp. 1–11, 2015.
- [۶] H. Tao, L. Chongmin, J. M. Zain, and A. N. Abdalla, "Robust image watermarking theories and techniques: A review," *J. Appl. Res. Technol.*, vol. 12, no. 1, pp. 122–138, 2014.
- [۷] N. A. Abbas, "Image watermark detection techniques using quadtrees," *Appl. Compute Informatics*, vol. 11, no. 2, pp. 102–115, 2015.
- [۸] M. Keyvaniour and F. M. Bayat, "Blind image watermarking method based on chaotic key and dynamic coefficient quantization in the {DWT} domain," *Math. Compute. Model.*, vol. 58, no. 1-2, pp. 56–67, 2013.
- [۹] Z. Xie and X. Wang, "A Heuristic Feature Combination Selection Method in Fusion Detection of JPEG Stegoimages," in *2012 Fourth International Conference on Multimedia Information Networking and Security*, 2012, pp. 220–224.
- [۱۰] M. Kiamini, S. Fazli , " A High Performance Steganographic Method using JPEG and PSO Algorithm," IEEE, 2008.

- [34] X. Liao, QY. Wen, ZL. Zhao, "A novel steganographic method with four-pixel differencing and modulus function", *Fundam Informaticae*, Vol. 118, pp. 281-289, 2012.
- [35] M. Hussain, AWA. Wahab, ATS. Ho, "A data hiding scheme using parity-bit pixel value differencing and improved rightmost digit replacement", *Signal Process Image Commun.*, Vol. 50, pp.44-57, 2017.
- [36] Li. Zhaotong, He.Ying, "Steganography with pixel-value differencing and modulus function based on PSO", *Journal of Information Security and Applications*, vol. 43, pp. 47-52, 2018.
- لادن ریاضی عضو هیأت علمی و استادیار**
دانشگاه آزاد اسلامی، مدرک کارشناسی خود را در رشته مهندسی رایانه گرایش نرمافزار در سال ۱۳۷۹ و مدرک کارشناسی ارشد خود را در رشته مهندسی رایانه گرایش هوش مصنوعی و ریاضیک در سال ۱۳۸۲ و مدرک دکتراخ خود را در رشته مدیریت فناوری اطلاعات گرایش کسب و کار هوشمند در سال ۱۳۹۸ از دانشگاه آزاد اسلامی دریافت کرده‌اند. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان پردازش تصویر، هوش تجاری، سامانه‌های اطلاعات مدیریتی و آموزش الکترونیکی است.
نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:
l_riazi@iauec.ac.ir
- علیرضا پورابراهیمی عضو هیأت علمی و استادیار**
دانشگاه آزاد اسلامی، در سال ۱۳۸۶ مدرک دکتراخ خود را در رشته مدیریت صنعتی از دانشگاه آزاد اسلامی دریافت کرده است. وی از سال ۱۳۷۴ تا کنون به امر تدریس در دانشگاه‌های کشور اشتغال داشته‌اند و دارای تألیفات و پژوهش‌های متعدد علمی بوده‌اند. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان امنیت، الگوریتم‌های فرآبتكاری و داده‌کاوی است.
نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:
poorebrahimi@gmail.com
- محمد البرزی عضو هیأت علمی و دانشیار**
دانشگاه آزاد اسلامی، در سال ۱۳۷۵ مدرک دکتراخ خود را در رشته مهندسی رایانه از دانشگاه برونل انگلستان دریافت کرده است. موضوعات پژوهشی
- [22] X. Li and J. Wang, "A steganographic method based upon {JPEG} and particle swarm optimization algorithm," *Inf. Sci. (Ny.)*, vol. 177, no. 15, pp. 3099–3109, 2007.
- [23] G. S. Lin, Y. T. Chang, and W. N. Lie, "A Framework of Enhancing Image Steganography With Picture Quality Optimization and Anti-Steganalysis Based on Simulated Annealing Algorithm," *IEEE Trans. Multimed.*, vol. 12, no. 5, pp. 345–357, Aug. 2010.
- [24] A. Mishra, C. Agarwal, A. Sharma, and P. Bedi, "Optimized gray-scale image watermarking using DWT-SVD and Firefly Algorithm," *Expert Syst. Appl.*, vol. 41, no. 17, pp. 7858–7867, 2014.
- [25] A. Miri, K. Faez, "Adaptive image steganography based on transform domain via genetic algorithm", *Optik*, vol. 145, pp.158-168.
- [26] S. Hemalatha, U. D. Acharya, and A. Renuka, "Wavelet Transform Based Steganography Technique to Hide Audio Signals in Image," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 47, pp. 272–281, 2015.
- [27] M. Nosrati, A. Hanani, and R. Karimi, "Steganography in Image Segments Using Genetic Algorithm," in *2015 Fifth International Conference on Advanced Computing Communication Technologies*, 2015, pp. 102–107.
- [28] Z. Li, Y. Hi, "Steganography with pixel-value differencing and modulus function based on PSO," *Information Security and Applications*, vol.43, pp. 47-52, 2018.
- [29] F. G. Mohammadi , H. sajedi, "Region based Image Steganalysis using Artificial Bee Colony," *Visual Communication and Image Representation*, vol 14, pp. 214-226, 2017.
- [30] S.I. Nipanikar, V. H. Deepthi, N. Kulkarni, "A sparse representation based image steganography using Particle Swarm Optimization and wavelet transform," *Alexandria Engineering*, vol. 57, pp. 2343-2356, 2018.
- [31] A. Miri, k. Faez, "Adaptive image steganography based on transform domain via genetic algorithm," *Optik*, vol. 145, pp. 158-168, 2017.
- [32] CM.Wang, NI. Wu, CS. Tsai, "A high quality steganographic method with pixel-value differencing and modulus function", *J Syst Softw*, Vol. 81, pp.150-158, 2008.
- [33] CH. Yang, SJ. Wang, C. Weng, "Capacity-raising steganography using multi-pixel differencing and pixel-value shifting operations", *Fundam Informaticae*, Vol. 98, pp.321-336, 2010.



محمد البرزی عضو هیأت علمی و
دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی، در سال
۱۳۷۵ مدرک دکتراخ خود را در رشته
مهندسی رایانه از دانشگاه برونل انگلستان
دریافت کرده است. موضوعات پژوهشی

مورد علاقه ایشان، هوش مصنوعی - شبکه‌های عصبی، شبیه‌سازی، روش‌های کمی و سامانه‌های اطلاعات مدیریت پیشرفته است.

نشانی رایانمه ایشان عبارت است از:

mahmood_alborzi@yahoo.com



رضا رادفر عضو هیأت علمی و استاد دانشگاه آزاد اسلامی، مدرک کارشناسی خود را در سال ۱۳۷۵ در رشته مدیریت صنعتی و کارشناسی ارشد خود را در سال ۱۳۷۸ در رشته مدیریت صنعتی گرایش تولید و عملیات و دکتراخود را در سال ۱۳۸۳ در رشته مدیریت صنعتی گرایش سامانه‌ها از دانشگاه آزاد اسلامی دریافت کرده‌اند. موضوعات پژوهشی مورد علاقه ایشان الگوریتم‌های ژنتیک، مدیریت فناوری و نوآوری، شبکه‌های عصبی است.

نشانی رایانمه ایشان عبارت است از:

r.radfar@srbiau.ac.ir