

# فشرده‌سازی تصویر توسط چندی‌سازی برداری مبتنی بر الگوریتم کرم شب‌تاب بهبودیافته

ثریا امویی<sup>۱</sup>، دانشجوی کارشناسی ارشد؛ کمال میرزائی<sup>۲</sup>، استادیار

۱- دانشکده مهندسی کامپیوتر- دانشگاه علم و هنر- یزد- ایران - sorayya.amouei@gmail.com

۲- دانشکده مهندسی کامپیوتر - واحد میبد - دانشگاه آزاد اسلامی- میبد - ایران - k.mirzaie@maybodiua.ac.ir

**چکیده:** چندی‌سازی برداری یکی از روش‌های پرکاربرد در فشرده‌سازی تصویر است. پژوهشگران، الگوریتم‌های مختلفی با چندی‌سازی برداری به منظور رسیدن به کتاب-کد بهینه ارائه داده‌اند. از جمله این الگوریتم‌ها می‌توان از الگوریتم ژنتیک، الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات و الگوریتم کرم شب‌تاب نام برد. در این مقاله برای چندی‌سازی برداری، روش جدیدی بر اساس الگوریتم کرم شب‌تاب بهبودیافته ارائه شده است. در روش پیشنهادی عملکرد ترکیب ژنتیک با الگوریتم کرم شب‌تاب پایه، به منظور بهبود الگوریتم پایه، ادغام شده و از آن در تولید کتاب-کد چندی‌سازی برداری، استفاده گردیده است. نتایج پیاده‌سازی روش پیشنهادی، نشان می‌دهد که این الگوریتم کرم شب‌تاب بهبودیافته در مقایسه با الگوریتم‌های ژنتیک و کرم شب‌تاب پایه، بهتر عمل می‌کند. درصد بهبود کیفیت روش پیشنهادی نسبت به الگوریتم کرم شب‌تاب پایه حدود یک درصد است. علاوه بر آن، با افزایش سایز کتاب-کد عملکردی مشابه با الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات دارد.

**واژه‌های کلیدی:** فشرده‌سازی تصویر، چندی‌سازی برداری، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم کرم شب‌تاب.

## Vector Quantization Using a Modified Firefly Algorithm for Image Compression

Sorayya Amouei<sup>1</sup>, MSc student; Kamal Mirzaie<sup>2</sup>, Assistant professor

1- Department of Computer Engineering, Science and Art University, Yazd, Iran, Email: sorayya.amouei@gmail.com

2- Department of Computer Engineering, Maybod Branch, Islamic Azad University, Maybod, Iran, Email: k.mirzaie@maybodiua.ac.ir

**Abstract:** Vector Quantization (VQ) is the powerful technique in image compression. Generating a good codebook is an important part of VQ. There are various algorithms in order to generate an optimal codebook. Recently, Swarm Intelligence (SI) algorithms were adapted to obtain the near-global optimal codebook of VQ. In this paper, we proposed a new method based on a modified firefly algorithm (MFA) to construct the codebook of VQ. The proposed method merged genetic crossover operator with FA to develop the VQ. This method is called MFA model. Experimental results indicate that the reconstructed images generated by the proposed model is get higher quality than FA and it's about one percent, but it is no significant superiority to the PSO algorithm. Furthermore, MFA is slower than FA.

**Keywords:** Image Compression, Vector Quantization, Swarm Intelligence, Firefly Algorithm.

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۶/۰۶/۱۱

تاریخ اصلاح مقاله: ۱۳۹۶/۰۹/۰۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۱۱/۲۱

نام نویسنده مسئول: کمال میرزائی

نشانی نویسنده مسئول: ایران - یزد - میبد - دانشگاه آزاد اسلامی، واحد میبد - گروه مهندسی کامپیوتر.

## ۱- مقدمه

ترکیب بر روی آن‌ها اعمال می‌شود. از بین جواب‌های بدست آمده، جوابی که دارای برازش بیشتری است انتخاب شده و کرم شب‌تاب مورد نظر به سمت آن حرکت می‌کند. در ادامه از الگوریتم کرم شب‌تاب بهبودیافته پیشنهادی، برای چندی‌سازی برداری به منظور فشرده‌سازی تصویر، استفاده می‌شود و نتایج آن با الگوریتم شب‌تاب پایه، مقایسه خواهد شد.

## ۲- کارهای انجام شده

الگوریتم ژنتیک در زمینه‌های مختلفی از جمله چندی‌سازی برداری مورد استفاده قرار می‌گیرد. در [۷] الگوریتم جدیدی برای فشرده‌سازی معرفی شده است. این الگوریتم از امکانات و توانایی‌های الگوریتم ژنتیک استفاده کرده است تا کارایی روش چندی‌سازی برداری را مؤثرتر و قدرتمندتر کند. مؤلفین مقاله با به کار بردن عملیات ترکیب، تکنیک نخبه‌کشی و جهش<sup>۶</sup>، کتاب-کدی بهینه برای چندی‌سازی برداری ارائه دادند.

الگوریتم ژنتیک به منظور افزایش کارایی با الگوریتم‌های مختلفی ترکیب شده است. در مقاله [۸] پس از به دست آوردن جمعیت اولیه و انتخاب دو والد از الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه زوجی برای عملیات ترکیب استفاده شده است. پس از عملیات ترکیب، عملیات جهش به منظور حفظ تنوع ژنتیکی انجام می‌شود. این روند منجر به تولید جمعیتی جدید می‌شود و سپس برای بهینه‌سازی محلی از الگوریتم GLA<sup>۷</sup> استفاده کرده است.

در [۹] تابع عضویت از نوع گوسی ارائه شده است تا تطابق بین بردارهای کد و الگوهای تصویر را محاسبه کند. از این رو تابع عضویت به‌عنوان یک تخمین‌زننده نرم فرض شده است و وزن‌های مناسب الگوی تصویر داده‌شده را توسط دستیابی به بیشترین شباهت بین بردارهای کد و الگوی تصویر اصلی تخمین می‌زند. الگوریتم‌های استنتاج فازی نیاز فراوان به دانستن اینکه چگونه شمای یادگیری طراحی شود تا تابع عضویت مناسبی شناسایی شود و به بردار کد خوبی دست یابد. از دیگر مشکلات، این است که ترکیب تنظیمات بهترین پارامتر وابسته به اشکال و محدوده تصویر آموزشی اصلی است. به منظور کاهش امتحانات و خطاها، پیشنهاد شده است که سیستم استنتاج فازی از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات برای دستیابی به فشرده‌سازی تصویر استفاده کند. بر اساس شمای یادگیری تطابقی PSO و تابع عضویت قابل انعطاف سیستم استنتاج فازی شواهد ثابت کردند که این سیستم فشرده‌سازی تصویر، بسیار سودمند است.

کاپور و همکارانش در [۱۰] الگوریتم یادگیری بهینه‌سازی ازدحام ذرات خود تطبیقی فازی را به منظور دستیابی به کتاب-کد بهینه برای

با توجه به پیشرفت‌های وسیعی که در زمینه ذخیره‌سازی و انتقال اطلاعات وجود داشته است، فشرده‌سازی داده‌ها مورد توجه بسیاری قرار گرفته است. یکی از داده‌های پرکاربرد، تصویر است. در این راستا، پژوهشگران به دنبال راه‌های مختلفی برای فشرده‌سازی تصاویر هستند. در میان این روش‌ها، چندی‌سازی برداری<sup>۱</sup> با توجه به موفقیت‌هایی که در برخی کاربردها داشته است، مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است. به طور کلی VQ به سه فاز تولید کتاب-کد<sup>۲</sup>، رمزگذاری<sup>۳</sup> بردار و رمزگشایی<sup>۴</sup> بردار، تقسیم می‌شود [۱، ۲]. تولید کتاب-کد فرایند مهمی برای تشخیص کارایی چندی‌سازی برداری است. هدف از تولید کتاب-کد، یافتن بردار-کدهایی<sup>۵</sup> برای بردارهای آموزشی<sup>۶</sup> داده‌شده است. این عمل توسط کمینه کردن فاصله بین بردارهای آموزشی و بردار-کدهای مربوط به هر کدام، صورت می‌گیرد. عملیات کدگذاری برداری شامل تقسیم‌بندی تصویر به بردارهای ورودی (بلاک‌ها) و مقایسه با کلمه-کدهای<sup>۷</sup> کتاب-کد به منظور یافتن نزدیک‌ترین کلمه-کد برای هر بردار ورودی است. به عبارتی اندیسی که نزدیک‌ترین کلمه-کد برای هر بردار ورودی اشاره دارد، تعیین می‌شود. اندازه کتاب-کد بسیار کوچک‌تر از تصویر اصلی است که هدف فشرده‌سازی تصویر است. در فرآیند کدگشایی، زیر-تصویر توسط کتاب-کد مربوطه‌اش که در فاز کدگشایی استفاده شده است، بازیابی می‌شود. زمانی که هر زیرتصویر به طور کامل بازسازی شد، کدگشایی کامل می‌شود [۳].

می‌توان روش‌های چندی‌سازی برداری را به دو دسته کلاسیک و متاهیورستیک تقسیم‌بندی کرد. چندی‌سازی برداری با ساختار درختی، چندی‌سازی برداری حاصل‌ضربی و LBG<sup>۸</sup> نمونه‌هایی از روش‌های کلاسیک هستند. در مقابل آن چندی‌سازی برداری مبتنی بر الگوریتم‌های تکاملی و هوش جمعی<sup>۹</sup> مانند الگوریتم ژنتیک<sup>۱۰</sup>، بهینه‌سازی ازدحام ذرات<sup>۱۱</sup> و کرم شب‌تاب<sup>۱۲</sup> از نوع متاهیورستیک هستند [۴، ۵]. اخیراً، الگوریتم‌های هوش جمعی مختلفی به منظور طراحی کتاب-کد برای بهبود در روش چندی‌سازی برداری بکار گرفته شده‌اند. این الگوریتم‌ها با انتخاب یک کتاب-کد مناسب، مقدار خطای انحراف<sup>۱۳</sup> را کمینه می‌کنند [۶]. هدف اصلی این مقاله، ارائه روشی جدید به منظور دستیابی به نرخ فشرده‌سازی بهتری نسبت به روش الگوریتم کرم شب‌تاب پایه است. معادله حرکتی الگوریتم کرم شب‌تاب دارای کمبودهایی است. از این رو برای بهبود حرکت کرم‌های شب‌تاب از عملگر ژنتیک به نام تابع ترکیب<sup>۱۴</sup> استفاده شده است. در روش پیشنهادی حرکت کرم شب‌تاب به سمت کرم شب‌تاب پرنورتر به این صورت است که، ابتدا دو کرم شب‌تاب با مقدارهای برازش<sup>۱۵</sup> بیشتر از کرم شب‌تاب مورد نظر به صورت تصادفی انتخاب می‌شوند، سپس تابع

درخشندگی است. به عبارتی کرم شب‌تاب را به سمت کرم شب‌تابی حرکت می‌دهد که باعث افزایش درخشندگی آن شود. اگر کرم شب‌تابی با این ویژگی یافت نشود، کرم شب‌تاب در موقعیت خودش باقی می‌ماند.

در [۱۴] چیرانجیوی و همکارانش به مقایسه و بررسی روش‌های بهینه‌سازی مختلفی برای تولید کتاب-کد در روش چندی‌سازی برداری پرداخته‌اند. نتایج نشان داد که الگوریتم خفاش<sup>۱۸</sup> PSNR بهتری نسبت به الگوریتم‌های LBG، کرم شب‌تاب، فاخته و فاخته پیوندی دارد.

سورو و همکارانش در [۱۵] یک الگوریتم کرم شب‌تاب بهبودیافته برای تولید کتاب کد روش چندی‌سازی برداری معرفی کردند. تفاوت اصلی نسخه بهبودیافته و پایه در مجموعه آموزشی است. این روش تأثیر و قدرت بالای مجموعه آموزشی را در تولید یک کتاب کد بهتر نشان داد.

کاری و همکارانش در [۱۶] روش جدیدی برای تولید کتاب کد چندی‌سازی برداری به کمک الگوریتم خفاش نشان دادند. این روش کتاب کدی مؤثر با زمان محاسباتی کم و PSNR خوبی ارائه می‌دهد. در این مقاله با توجه به مقادیر PSNR، برآزش و مدت‌زمان اجرا نتایج الگوریتم پیشنهادی را با الگوریتم‌های GA، PSO و FA مقایسه شده است.

در ادامه این مقاله بخش ۳ به چگونگی تولید کتاب-کد توسط الگوریتم کرم شب‌تاب می‌پردازد. بخش ۴ شامل معرفی روش پیشنهادی است. در بخش ۵ نتایج حاصل از پیاده‌سازی‌ها و مقایسه انجام شده برای تعیین کارایی الگوریتم جدید با برخی معیارهای معمول فشرده‌سازی مورد بررسی قرار می‌گیرند و در بخش ۶ جمع‌بندی و کارهای آینده، ارائه می‌شود.

### ۳ چندی‌سازی برداری مبتنی بر الگوریتم کرم شب‌تاب

چندی‌سازی برداری یک روش فشرده‌سازی داده با اتلاف در حالت کدگذاری بلوکی است. تولید کتاب-کد از مراحل مهم در VQ می‌باشد. فرض می‌شود اندازه پیکسل‌های تصویر اصلی  $h \times w$  است که به بلوک‌هایی با سائز  $n \times n$  تقسیم‌بندی می‌گردد. به عبارتی تصویر به تعداد Nb بلاک تقسیم‌بندی شده که هر بلاک مجموعه‌ای از برداری‌های ورودی را تشکیل می‌دهد. فرض می‌کنیم L برابر با  $n \times n$  است؛ بنابراین کتاب-کد شامل Nc کلمه-کد L بعدی است. روش VQ هر بردار ورودی را به یک کلمه-کد نسبت می‌دهد و کلمه کد در آخر با بردارهای ورودی تخصیص داده‌شده‌اش جایگزین می‌شود تا به هدف فشرده‌سازی دست یابد.

در سال ۲۰۰۹ الگوریتم کرم شب‌تاب توسط یانگ ارائه شد [۱۷]. کرم‌های شب‌تاب نورهای ریتیمیک و کوتاه تولید می‌کنند و الگوی نوری هرکدام با یکدیگر متفاوت می‌باشند. کرم‌های شب‌تاب از این نورها به دو منظور استفاده می‌کنند. ۱. فرآیند جذب جفت‌ها ۲. برای جذب

چندی‌سازی برداری معرفی کردند. شماهای یادگیری این روش فواید روش استنتاج فازی، مفهوم چندی‌سازی برداری پایه و کارایی بهینه‌سازی ازدحام ذرات خودتطبیقی را باهم ترکیب کرده تا به یک کتاب-کد بهینه دست یابد. شماای ارائه‌شده از استراتژی خودتطبیقی به‌منظور کارایی بهتر در سرعت همگرایی و همچنین جلوگیری از گیرکردن در بهینه محلی استفاده می‌کند. به دلیل شماای یادگیری بهینه‌سازی ازدحام ذرات خودتطبیقی و توابع عضویت انعطاف‌پذیر سیستم استنتاج فازی مقدار کارایی و سودمندی این روش در فشرده‌سازی تصویر مشخص شده است. این روش کارایی بهتری نسبت به روش‌های LBG پایه و بهینه‌سازی ازدحام ذرات مبتنی بر فازی دارد.

در سال ۲۰۱۲ مینگ در [۳] مقاله‌ای تحت عنوان فشرده‌سازی تصویر به روش چندی‌سازی برداری مبتنی بر الگوریتم کرم شب‌تاب ارائه داد. در این الگوریتم راه‌حل‌ها که همان کرم‌های شب‌تاب هستند به‌صورت کتاب-کد نمایش داده‌شده‌اند. نکته کلیدی تولید یک راه‌حل باکیفیت بالا، یافتن یک کتاب-کدی است که تابع برآزش را برای تمام بردارهای ورودی بیشینه می‌کند.

در [۱۱] مؤمنی و همکارانش با استفاده از تئوری صفت‌بندی سیستم تحت حمله را مدل‌سازی کردند و مسئله دفاع در برابر حملات SYN-flooding را به یک مسئله بهینه‌سازی نگاشت دادند. سپس با ارائه یک فیلتر جدید برای حذف نویزهای ضرب‌های در تصاویر نویزی و ترکیب فیلتر ارائه‌شده با الگوریتم PSO رهیافت پیشنهادی خود را معرفی کرده و به حل این مسئله پرداختند. نتایج شبیه‌سازی نشان دادند که مکانیسم دفاعی پیشنهادی از نظر میزان درخواست‌های بلوکه‌شده، احتمال موفقیت در برقراری ارتباط، کاهش احتمال موفقیت مهاجم و همچنین استفاده بهینه از بافر اختصاص داده‌شده دارای کارایی مؤثر است. نقش‌بندی و همکارانش در [۱۲] با استفاده از الگوریتم تکاملی ژنتیک به حل پخش بار بهینه با در نظر گرفتن توابع هدف مختلف در شرایط احتمالی متفاوت با محوریت قرار دادن قید پایداری سیگنال کوچک پرداختند. هدف نهایی از پخش بار بهینه (OPF) پیدا کردن نقطه کار بهینه در یک سیستم قدرت با در نظر گرفتن محدودیت‌های موجود است. دو نوع تابع هدف مورد استفاده در این مقاله شامل تابع هدف کمینه کردن هزینه ژنراتورها و تابع هدف امنیت اجتماعی مورد انتظار ضمن برآورده شدن قیود مسئله، به‌طور مناسبی به‌وسیله الگوریتم تکاملی ژنتیک بهینه می‌شوند. استراتژی پیشنهادی قادر به حل مسئله SSSC-OPF و پیدا کردن نقاط قبل و بعد از بروز اختلال می‌باشد.

چیرانجیوی و همکارانش در [۱۳] یک الگوریتم کرم شب‌تاب بهبودیافته به نام MFA ارائه دادند. در الگوریتم کرم شب‌تاب پایه، در صورت یافته نشدن کرم شب‌تاب درخشنده‌تر برای حرکت به سمت آن، حرکت کرم شب‌تاب تصادفی است. روش ارائه شده حرکت کرم‌های شب‌تاب پرنورتر به‌جای حرکت تصادفی، در جهت

پارامتر  $\gamma$  با توجه به تغییرات جذابیت تعیین می‌شود. این پارامتر در تعیین سرعت همگرایی و رفتار الگوریتم کرم شب‌تاب بسیار مؤثر است که در بیشتر کاربردها مقداری بین  $0.1$  تا  $1.0$ ، مقداردهی می‌شود. در سال ۲۰۱۲ مینگ در [۳] مقاله‌ای تحت عنوان فشرده‌سازی تصویر به روش چندی‌سازی برداری مبتنی بر الگوریتم کرم شب‌تاب ارائه داد. در این الگوریتم راه‌حل‌ها که همان کرم‌های شب‌تاب هستند به صورت کتاب-کد نمایش داده شدند. نکته کلیدی در تولید یک راه‌حل با کیفیت بالا، یافتن یک کتاب-کد کامل است که تابع برازش را برای تمام بردارهای ورودی بیشینه می‌کند. مراحل الگوریتم به شرح زیر است:

- ۱ - تولید جمعیت اولیه و پارامترهای داده‌شده، در این مرحله راه‌حل‌های اولیه به صورت تصادفی تولید می‌شوند.
- ۲ - انتخاب بهترین راه‌حل فعلی، در این مرحله بهترین راه‌حل از بین تمام راه‌حل‌ها با مقایسه مقدار برازششان انتخاب می‌شود.
- ۳ - حرکت کرم شب‌تاب به سمت کرم شب‌تاب جذاب‌تر، در این مرحله مقدار برازش هر راه‌حل به عنوان مقدار جذابیت کرم شب‌تاب توسط رابطه (۴)، محاسبه می‌شود. برای هر راه‌حل، این مرحله به صورت تصادفی راه‌حل دیگری که جذاب‌تر است را انتخاب کرده و به سوی آن حرکت می‌کند.
- در رابطه (۴)،  $nb$  نشان‌دهنده تعداد بلاک‌هایی است که تصویر به آن تقسیم‌بندی شده است.  $nc$  تعداد کلمه-کدهای موجود در کتاب-کد را نشان می‌دهد.  $X_i$  موقعیت کرم شب‌تاب فعلی و  $C_j$  موقعیت کرم شب‌تاب با مقدار برازش بیشتر را نشان می‌دهد.
- ۴ - بررسی شرط خاتمه، این روش به منظور تولید کتاب-کد برای چندی‌سازی برداری ایجاد شده است.

$$fitness = \frac{1}{nb} \sum_{j=1}^{nc} \sum_{i=1}^{nb} \|x_i - c_j\|^2 \quad (4)$$

#### ۴- الگوریتم پیشنهادی

در الگوریتم پیشنهادی کتاب-کد مربوط به روش چندی‌سازی برداری توسط الگوریتم کرم شب‌تاب بهبودیافته<sup>۱</sup>، ایجاد می‌شود. به منظور درک بیشتر این موضوع روند اجرای کلی چندی‌سازی برداری مبتنی بر الگوریتم کرم شب‌تاب بهبودیافته در شکل ۱ ارائه شده است.

شکار. همچنین این نورها می‌توانند به عنوان یک مکانیسم محافظتی برای کرم‌های شب‌تاب باشند. نورهای ریتمیک، نرخ تابیدن نور و میزان فاصله زمانی که بین سیگنال‌های نور وجود دارند باعث می‌شوند که دو جنس به یکدیگر جذب شوند. همچنین شدت نور در فاصله معین  $r$  از منبع نور، از قانون مجذور معکوس پیروی می‌کند. گفته می‌شود شدت نور  $I$  با افزایش فاصله  $r$  کاهش پیدا می‌کند که اصطلاحاً آن را با  $I \propto 1/r^2$  نشان می‌دهند. نور می‌تواند به عنوان تابع هدف فرموله شده و به عنوان یک الگوریتم بهینه‌سازی جدید معرفی گردد. سه فرض زیر برای پیاده‌سازی این الگوریتم در نظر گرفته شده است [۱۸، ۱۹].

- همه کرم‌های شب‌تاب، تک جنسیتی هستند و عامل جذب جفت‌ها به یکدیگر بدون در نظر گرفتن جنسیت آن‌ها است.
  - جذابیت به نسبت درخشندگی آن‌ها است. پس برای هر جفت کرم شب‌تاب، کرمی که نور کمتری دارد به سمت کرمی که نور بیشتری دارد جذب می‌شود. قدرت جذب به نسبت نور آن‌ها است و با افزایش فاصله بین دو کرم، شدت نور نیز کاهش می‌یابد. اگر کرم شب‌تابی از دیگری نورانی‌تر نباشد حرکت آن‌ها به صورت تصادفی انجام می‌شود.
  - درخشندگی کرم‌های شب‌تاب توسط مقدار تابع هدف تعیین می‌شود. برای مسئله بهینه‌سازی، شدت نور می‌تواند به سادگی توسط مقدار تابع هدف تعیین می‌شود.
- میزان جذابیت کرم شب‌تاب نسبی است و به شدت نور دیده‌شده توسط کرم‌های مجاور بستگی دارد. جذابیت کرم‌های شب‌تاب توسط رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$\beta(r) = \beta_0 e^{-\gamma r^2} \quad (1)$$

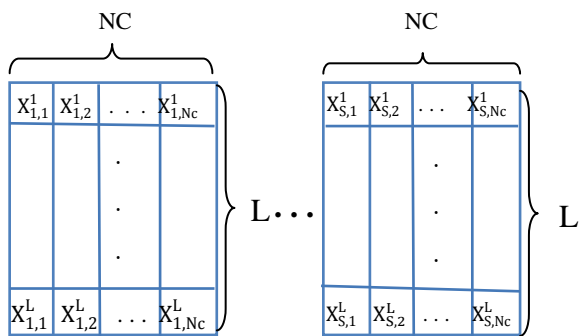
$\beta_0$  مقدار جذابیت در فاصله  $r = 0$  می‌باشد، وقتی  $r = 0$  است و  $\gamma$  نشان‌دهنده مقدار ضریب جذب نور در هوا است. فاصله بین هر دو کرم شب‌تاب  $i$  و  $j$  در نقطه  $X_i$  و  $X_j$  می‌تواند به صورت فاصله کارترین طبق رابطه (۲) نشان داده شود.

$$r_{ij} = \|x_i - x_j\| = \sqrt{\sum_{k=1}^d (x_{i,k} - x_{j,k})^2} \quad (2)$$

به طوری که  $x_{i,k}$ ،  $k$  امین بخش از مختصات فضایی  $(X_i)$  کرم شب‌تاب  $i$  است. حرکت و جذب کرم شب‌تاب  $i$  به کرم شب‌تاب  $j$  که درخشان‌تر است به کمک رابطه (۳) به دست می‌آید.

$$x_i = x_i + \beta_0 e^{-\gamma r_{ij}^2} (x_j - x_i) + \alpha(\text{rand} - 1/2) \quad (3)$$

در رابطه (۳) جمله اول نشان‌دهنده موقعیت فعلی کرم شب‌تاب  $i$ ، جمله دوم فرآیند جذب و جمله سوم، جمله تصادفی‌ساز است که توسط پارامتر تصادفی ساز  $\alpha$  این کار انجام می‌گردد.  $\text{rand}$  یک عدد تصادفی است که با استفاده از توزیع یکنواخت بین  $[0, 1]$  به دست می‌آید.  $\beta_0$  نشان‌دهنده میزان جذابیت در منبع نور است. در بیشتر موارد در پیاده‌سازی می‌توان  $\beta_0 = 1$  و  $\alpha \in [0, 1]$  در نظر بگیریم.



شکل ۲: ساختار راه‌حل‌ها یا جمعیت اولیه الگوریتم کرم شب‌تاب بهبودیافته

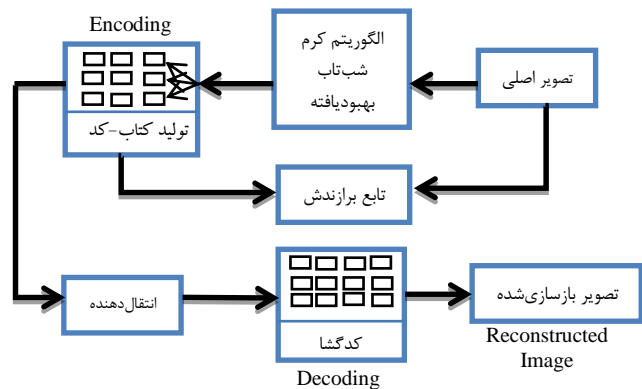
**مرحله ۲:** انتخاب بهترین راه‌حل فعلی: در این مرحله به کمک تابع برازش که در رابطه (۴) آمده است، بهترین راه‌حل از میان تمام راه‌حل‌ها انتخاب می‌شود. به عبارتی راه‌حلی که بیشترین مقدار برازش را دارد پیدا شده و به کمک روابط (۵) و (۶) تعریف می‌شود. در رابطه (۵)  $i^{max}$  اندیس بهترین راه‌حل فعلی و در رابطه (۶)  $x_i^{max}$  موقعیت بهترین راه‌حل فعلی را نشان می‌دهند.

$$i^{max} = \arg \max_i Fitness(x_i) \quad (5)$$

$$x_i^{max} = \arg \max_{x_i} Fitness(x_i) \quad (6)$$

**مرحله ۳:** حرکت کرم‌های شب‌تاب به سمت کرم شب‌تاب درخشان‌تر میزان درخشندگی و جذابیت کرم‌های شب‌تاب توسط تابع برازش بدست می‌آید. در مرحله سه، کرم شب‌تاب  $x_i$  به سمت کرم شب‌تاب جذاب‌تر حرکت می‌کند. حرکت کرم‌های شب‌تاب به گونه‌ای است که کرم شب‌تاب کم‌نورتر به سمت کرم شب‌تاب درخشان‌تر حرکت کرده و اگر هر دو کرم شب‌تاب درخشندگی یکسانی داشته باشند این حرکت به صورت تصادفی صورت می‌گیرد. این مرحله شامل چهار بخش زیر است:

- انتخاب: ابتدا مقدار برازش تمام راه‌حل‌ها (کرم‌های شب‌تاب) محاسبه می‌گردد. سپس با مقایسه مقدار برازش کرم شب‌تاب  $i$  با تمامی کرم‌های شب‌تاب، کرم‌های شب‌تابی که تابع برازش بیشتری از کرم شب‌تاب  $i$  دارند تعیین می‌شوند. پس از آن به کمک چرخ رولت دو راه‌حل از بین آن‌ها انتخاب می‌گردند (به نام‌های  $s_1$  و  $s_2$ ).
- ترکیب: به کمک عملگر ترکیب دو-نقطه‌ای، دو راه‌حل انتخاب شده  $s_1$  و  $s_2$  ترکیب و دو راه‌حل جدید تولید می‌شوند (به نام‌های  $c_1$  و  $c_2$ ). با توجه به شکل ۳ روند اجرای عملیات به این صورت است که ابتدا به صورت تصادفی دو اندیس به نام‌های  $P_1$  و  $P_2$  انتخاب می‌شوند و جابجایی برش‌ها صورت می‌گیرد.



شکل ۱: روند اجرای کلی چندی‌سازی برداری مبتنی بر الگوریتم کرم شب‌تاب بهبودیافته

با توجه به شکل ۱، تصویر اصلی به‌عنوان بردارهای آموزشی به الگوریتم کرم شب‌تاب بهبودیافته، داده می‌شود. الگوریتم کرم شب‌تاب بهبودیافته به دنبال یافتن جوابی است که دارای تابع برازش مناسبی باشد. این جواب همان کتاب-کد بهینه است. در مرحله بعد نوبت به عملیات کدگشایی می‌رسد. با اعمال کتاب-کد در بردارهای آموزشی عملیات کدگشایی صورت می‌گیرد و در نتیجه تصویر بازسازی شده بدست می‌آید. روش‌های مختلفی برای بهبود الگوریتم کرم شب‌تاب ارائه شده است. در این مقاله به منظور بهبود الگوریتم کرم شب‌تاب و افزایش قدرت جستجوی سراسری آن، از عملگر ترکیب دو نقطه‌ای ژنتیک استفاده شده است.

الگوریتم کرم شب‌تاب بر روی مجموعه‌ای از جواب‌ها (کرم‌های شب‌تاب) به نام جمعیت کار می‌کند. همان‌طور که در شکل ۲ می‌بینید، در این الگوریتم جواب‌ها در قالب کتاب-کد نمایش داده می‌شوند. تابع برازش نیز با استفاده از رابطه (۴) مورد استفاده قرار می‌گیرد. مراحل چندی‌سازی برداری مبتنی بر الگوریتم کرم شب‌تاب بهبودیافته به صورت زیر است.

**مرحله ۱:** تولید جمعیت اولیه و مقداردهی پارامترها: در الگوریتم کرم شب‌تاب جمعیت اولیه شامل تعدادی کرم شب‌تاب است. همان‌طور که گفته شد هر کرم شب‌تاب نمایانگر یک راه‌حل یا جواب است. در این مرحله جمعیت اولیه به صورت تصادفی تولید می‌شود. تعداد راه‌حل‌ها با  $S$  نشان داده می‌شود. همچنین مقادیر پارامترهای  $\beta_0$ ،  $\alpha$ ، مقدار بیشترین تکرار  $t_{max}$ ، شماره تکرار  $K$  و  $\gamma$  تعیین می‌شود. شکل ۲ نمای کلی از ساختار جمعیت اولیه در الگوریتم پیشنهادی را نشان می‌دهد.  $X_{i,j}$  نشان‌دهنده زمین کلمه-کد از کتاب-کد  $X_i$  است. اولین راه‌حل در جمعیت اولیه با  $X_1$  تعریف شده است و  $X_S$  آخرین راه‌حل از جمعیت اولیه است. هر کرم شب‌تاب یا راه‌حل کتاب-کدی با تعداد  $NC$  کلمه-کد  $L$  بعدی است.

## ۵- نتایج پیاده‌سازی

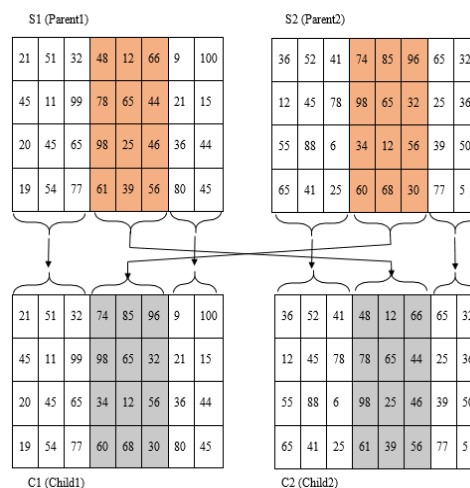
برای ارزیابی الگوریتم پیشنهادی به منظور تولید کتاب-کد از سه تصویر خاکستری ۵۱۲\*۵۱۲ پیکسلی با نام‌های Lena، Peppers و Baboon با وضوح دامنه ۸ بیتی در شکل ۶ استفاده شده است.

در مرحله کدگذاری تصویر، تصویر به طور کامل به بلاک‌های غیرهمپوش ۴\*۴ پیکسلی تقسیم‌بندی گردید. هر بلاک به‌عنوان یک الگوی بردار ورودی با ۱۶ بعد عمل می‌کند؛ بنابراین تعداد ۱۶۳۸۴ بردار برای کدگذاری تصویر وجود دارد. در آزمایش‌ها هشت کتاب-کد مختلف با اندازه‌های ۸، ۱۶، ۳۲، ۶۴، ۱۲۸ و ۲۵۶ پیاده‌سازی شدند. روش الگوریتم کرم شب‌تاب بهبودیافته با چهار الگوریتم دیگر به نام‌های GA، FA، PSO و MFA مقایسه شده است. الگوریتم کرم شب‌تاب بهبودیافته ارائه شده در [۱۳] می‌باشد. برنامه‌نویسی پنج الگوریتم با زبان متلب ۲۰۱۳ بر روی کامپیوتر شخصی با ۲/۵ GHz CPU و G4 RAM اجرا شده در سیستم ویندوز ده طراحی شده است. تعداد راه‌حل‌های اولیه (کرم‌های شب‌تاب) ۱۰۰ و تعداد تکرارها ۵۰ در نظر گرفته شده است. جدول‌های ۱ الی ۳ پارامترهای استفاده شده در الگوریتم‌های GA، PSO، FA و ModifiedFA را نشان می‌دهند.

1. Select  $P_1$  &  $P_2$  randomly;
2. Crossover operator:
3.  $c_1 = [s_1(:,1:P_1-1) \ s_2(:,P_1:P_2-1) \ s_1(:,P_2:end)]$ ;
4.  $c_2 = [s_2(:,1:P_1-1) \ s_1(:,P_1:P_2-1) \ s_2(:,P_2:end)]$ ;
5. end

شکل ۳: شبه کد عملگر ترکیب دو نقطه‌ای

در شکل ۴ یک مثال برای عملگر ترکیب دو-نقطه ای آورده شده است. در ابتدا دو اندیس به صورت تصادفی انتخاب می‌شوند و سپس جایجایی برش‌ها صورت می‌گیرد.



شکل ۴: مثالی از عملیات ترکیب دو-نقطه‌ای

- نخبه‌کشی: در نهایت از بین چهار راه‌حل تولید شده  $s_1$ ،  $s_2$ ،  $c_1$  و  $c_2$  به کمک روش نخبه‌کشی بهترین آن‌ها که دارای مقدار برازش بیشتری است، انتخاب می‌گردد.
- حرکت: کرم شب‌تاب  $i$  به سمت راه‌حل تعیین شده در مرحله نخبه‌کشی، حرکت می‌کند. رابطه (۲) فاصله اقلیدسی بین دو کرم شب‌تاب و رابطه (۳) تابع حرکت کرم‌های شب‌تاب بهبودیافته را نشان می‌دهد.

**مرحله ۴:** بررسی شرط خاتمه: بررسی شرط خاتمه الگوریتم، الگوریتم کرم شب‌تاب بهبودیافته پس از رسیدن به تعداد تکرار تعیین شده (MCL) خاتمه می‌یابد و یک جواب به دست می‌آید. در صورت نرسیدن تکرار به حد نصاب به شماره تکرار (K) یک واحد افزوده شده و به صورت تصادفی بهترین راه‌حل حرکت داده می‌شود و به مرحله دو برمی‌گردد. بهترین راه‌حل بر اساس رابطه (۷) به صورت تصادفی حرکت می‌کند.  $U_{i^{max}}$  یک مقدار تصادفی بین صفر و یک است.

$$x_{i^{max}} \leftarrow x_{i^{max}} + U_{i^{max}} \quad (7)$$

شبه کد الگوریتم کرم شب‌تاب مبتنی بر عملگر ترکیب در شکل ۵ آمده است. پس از اتمام الگوریتم کرم شب‌تاب بهبودیافته از جواب آن به‌عنوان کتاب-کد بهینه روش چندی‌سازی برداری برای عملیات کدگذاری و دوباره‌سازی تصویر استفاده می‌شود.

جدول ۱: پارامترهای استفاده‌شده در الگوریتم PSO

پارامتر	توضیح	مقدار
S	تعداد ذرات	100
V	سرعت‌های تصادفی	[-1,1]
Iter	تعداد تکرارها	50
$1\phi$	ضریب شناختی	2.1
$2\phi$	ضریب شناختی	2.0
$\phi$	$1+\phi 2\phi$	4.1
K	$K = \frac{2}{ 2\phi - \sqrt{\phi^2 - 4\phi} }$	0.729
C1	$1 * K\phi$	1.5309
C2	$2 * K\phi$	1.458

جدول ۲: پارامترهای استفاده‌شده در الگوریتم GA

پارامتر	توضیح	مقدار
S	تعداد ذرات	100
Iter	تعداد تکرارها	50
pc	درصد ترکیب	0.9
pm	درصد جهش	0.2
ncross	r	90
nmut	r	20

جدول ۳: پارامترهای استفاده‌شده در الگوریتم FA و ModifiedFA

پارامتر	توضیح	مقدار
S	تعداد ذرات	100
Iter	تعداد تکرارها	50
$\alpha$	ضریب جهش	0.01
$0\beta$	مقدار اولیه ضریب جاذبیت	1.0
$\gamma$	ضریب جذب نور	1.0

نرخ بیت به صورت رابطه (۸) تعریف می‌شود.

$$bit\_rate = \frac{\log_2 NC}{L} \quad (8)$$

که NC اندازه کتاب-کد طراحی شده و L تعداد پیکسل‌های بلاک را نشان می‌دهد. همچنین کیفیت تصویر کدگذاری شده توسط رابطه (۹) محاسبه می‌گردد و معرفی کننده PSNR است.

$$PSNR = 10 \log_{10} \left( \frac{(h-1)*(w-1)}{MSE} \right) \quad (9)$$

h و w نشان‌دهنده اندازه طول و عرض تصویر هستند. MSE خطای مربع میانگین بین تصویر اصلی و تصویر بازسازی شده است و توسط رابطه (۱۰) تعریف می‌شود.

$$MSE = \frac{1}{h*w} \sum_{i=1}^h \sum_{j=1}^w (y_{ij} - \bar{y}_{ij})^2 \quad (10)$$

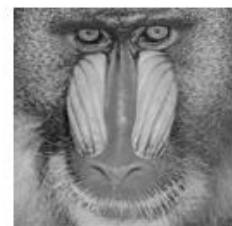
$h \times w$  اندازه تصویر،  $y_{ij}$  و  $\bar{y}_{ij}$  مقدار پیکسلی در موقعیت (i,j) تصویر اصلی و تصویر بازسازی شده هستند.

1. Firefly algorithm based on Genetic operators:
2. Begin
3. Initialization:
4. Objective function  $f(x)$ ,  $x = (x_1, \dots, x_n)_T$
5. Generate initial population of fireflies,  $x_i (i = 1, 2, \dots, n)$
6. Light intensity  $I_i$  at  $x_i$  is determined by  $f(x_i)$
7. Define light absorption coefficient  $\gamma$
8.  $k = 1$
9. Movement:
10. While ( $k < MCL$ )
11. for  $j = 1 : \text{no. fireflies}$
12. for  $i = 1 : \text{no. fireflies}$
13. find fireflies ( $I_j > I_i$ ),
14. choose two fireflies  $j$  within roulette wheel and define  $s_1, s_2$ ;
15. Apply two-point crossover between  $s_1, s_2$  and define as  $c_1, c_2$ ;
16. Select the best firefly as  $V$  among  $s_1, s_2, c_1, c_2$ ;
17. Attractiveness varies with distance  $r$  via  $e^{-\gamma r}$
18. Evaluate new solutions and update light intensity
19. end for  $i$
20. end for  $j$
21. Rank the fireflies and find the current best
22.  $k = k + 1$ ;
23. End while
24. Postprocess results and visualization

شکل ۴: شبه کد الگوریتم کرم شب‌تاب مبتنی بر عملگر ترکیب



ب) Lena



الف) Baboon



ج) Pepper

شکل ۵: تصاویر آموزشی

شکل ۹ میانگین PSNR را در تصویر Peppers نشان می‌دهد. مشابه تصاویر قبلی بدترین میانگین PSNR متعلق به الگوریتم ژنتیک و بهترین میانگین PSNR مربوط به الگوریتم PSO است. نتایج نشان می‌دهند که با افزایش نرخ بیت نتایج الگوریتم ModifiedFA به الگوریتم PSO نزدیک‌تر می‌شوند و هدف بهبود الگوریتم FA پایه توسط الگوریتم ModifiedFA نیز برقرار است.

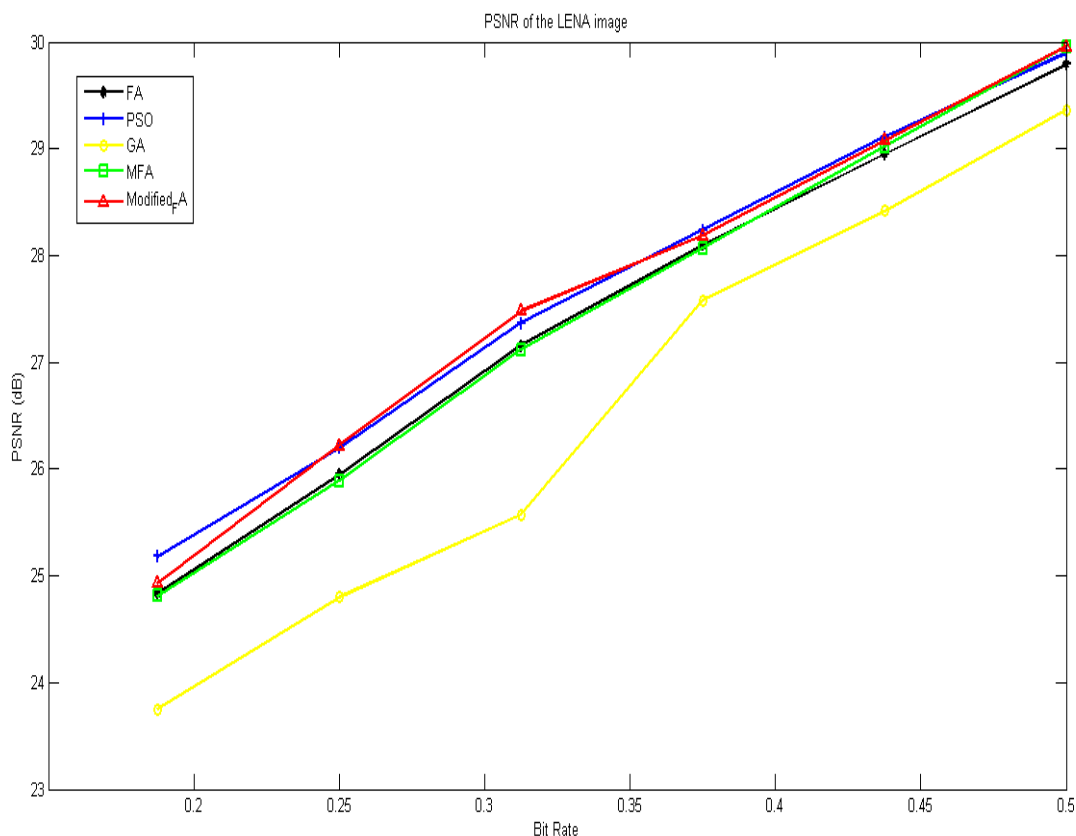
به طور کلی بررسی شکل‌های ۷-۹ بیان‌کننده قدرت بالای الگوریتم PSO در بازسازی تصویر با کیفیت بالاتر است. دلیل قدرتمندی الگوریتم PSO نسبت به بقیه الگوریتم‌های نام برده، داشتن دو پارامتر مهم به نام‌های بهینه محلی و بهینه سراسری می‌باشد. این در حالی است که الگوریتم‌های GA، FA، MFA و ModifiedFA تنها دارای پارامتر بهینه سراسری هستند. نتایج نشان دادند که با افزایش اندازه کتاب‌کد PSNR الگوریتم پیشنهادی ModifiedFA تقریباً نزدیک به اندازه PSNR الگوریتم PSO می‌شود.

میانگین مقادیر برازش مربوط به سه تصویر، توسط چهار الگوریتم ذکر شده در شکل‌های ۱۰-۱۲ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهند که برازش سه تصویر آزمایشی اجرا شده توسط الگوریتم PSO بیشتر از چهار الگوریتم دیگر است. کمترین مقدار برازش تصاویر مربوط به الگوریتم GA می‌باشد. علاوه بر آن، با بررسی سه تصویر مشاهده می‌شود که مقدار برازش الگوریتم ModifiedFA بیشتر از الگوریتم FA پایه و MFA است.

در آزمایش‌ها پنج الگوریتم پیاده‌سازی و هر کدام ده بار اجرا شدند. شکل‌های ۷-۹ میانگین مقدار PSNR مربوط به هر تصویر آزمایشی را نشان می‌دهند. در ادامه نتایج هر تصویر به‌طور کامل بررسی می‌گردد.

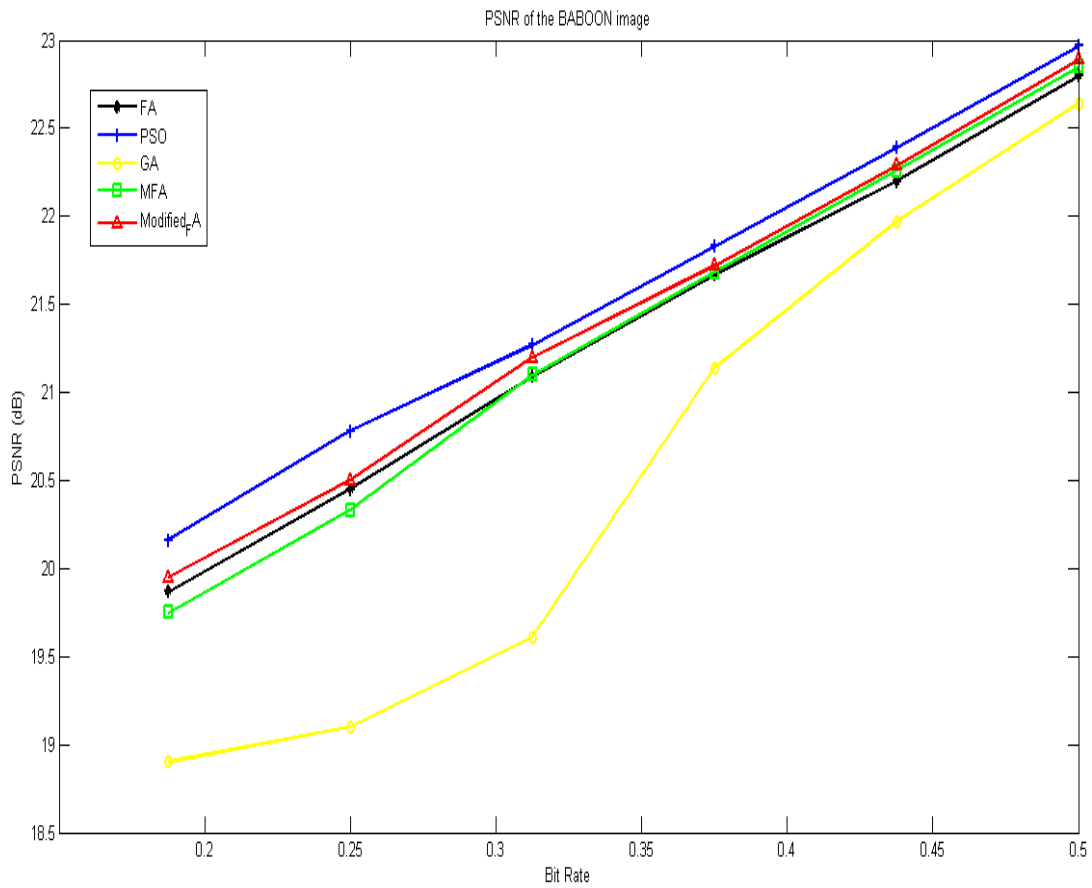
نتایج شکل ۷ نشان می‌دهد که در تصویر Lena بدترین میانگین PSNR مربوط به الگوریتم GA است. الگوریتم‌های ModifiedFA و PSO تقریباً عملکردی مشابه یکدیگر دارند و بیشترین میانگین PSNR را دارا می‌باشند. همچنین با بررسی این نتایج، مشاهده می‌شود که الگوریتم ModifiedFA دارای میانگین PSNR بالاتری نسبت به الگوریتم FA پایه و MFA است. بنابراین تصویر بازسازی شده Lena توسط الگوریتم پیشنهادی ModifiedFA دارای کیفیت بهتری نسبت به الگوریتم FA پایه و MFA می‌باشد.

همان‌طور که در شکل ۸ نشان داده شده است بدترین میانگین PSNR در تصویر Baboon مشابه تصویر Lena متعلق به الگوریتم GA است. علاوه بر آن، الگوریتم PSO دارای بهترین میانگین PSNR نسبت به سه الگوریتم دیگر است. با توجه به میانگین PSNR در دو الگوریتم FA و MFA مشاهده می‌شود اگرچه الگوریتم MFA بهبود ناچیزی در الگوریتم FA پایه ایجاد کرده است اما تقریباً دو الگوریتم عملکردی مشابه هم دارند. این در حالی است که الگوریتم ModifiedFA بهتر از دو الگوریتم FA و MFA عمل کرده و PSNR بالاتری را دارا می‌باشد.

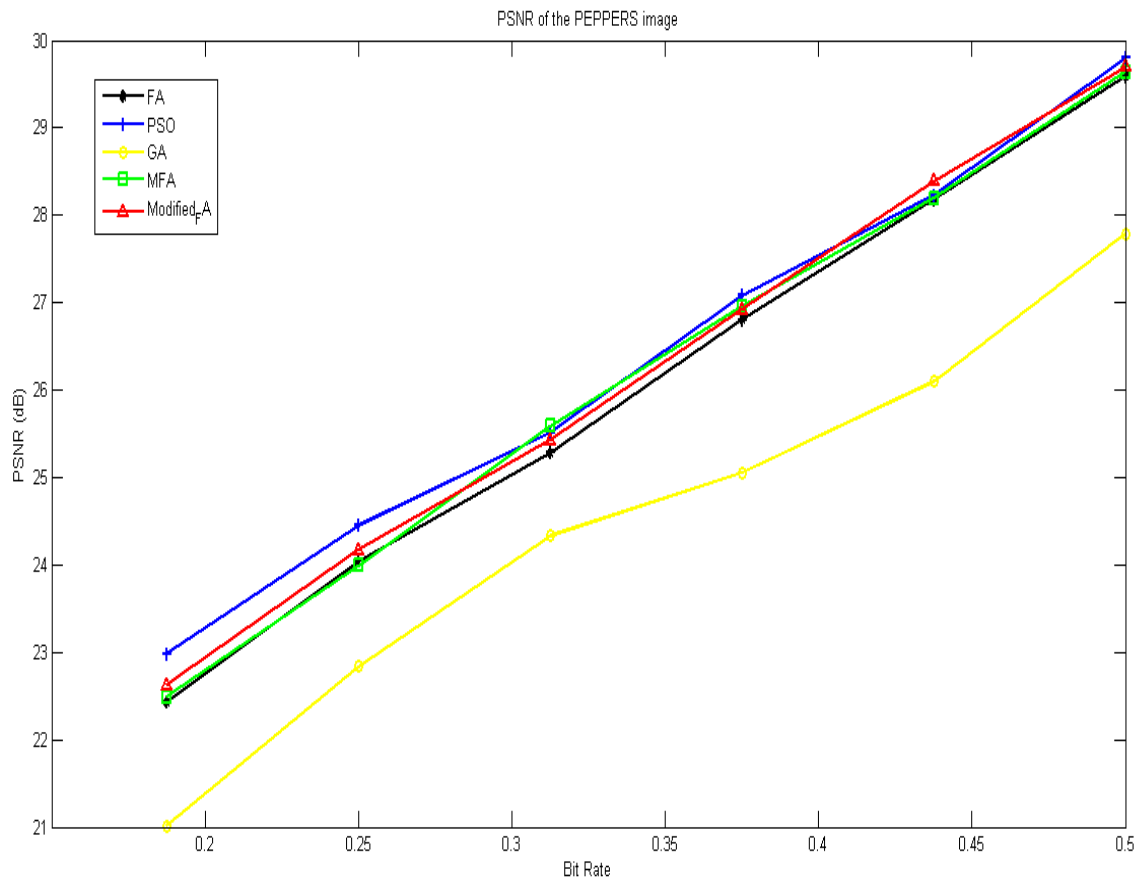


شکل ۶: میانگین PSNR تصویر Lena در پنج روش چندی‌سازی مختلف

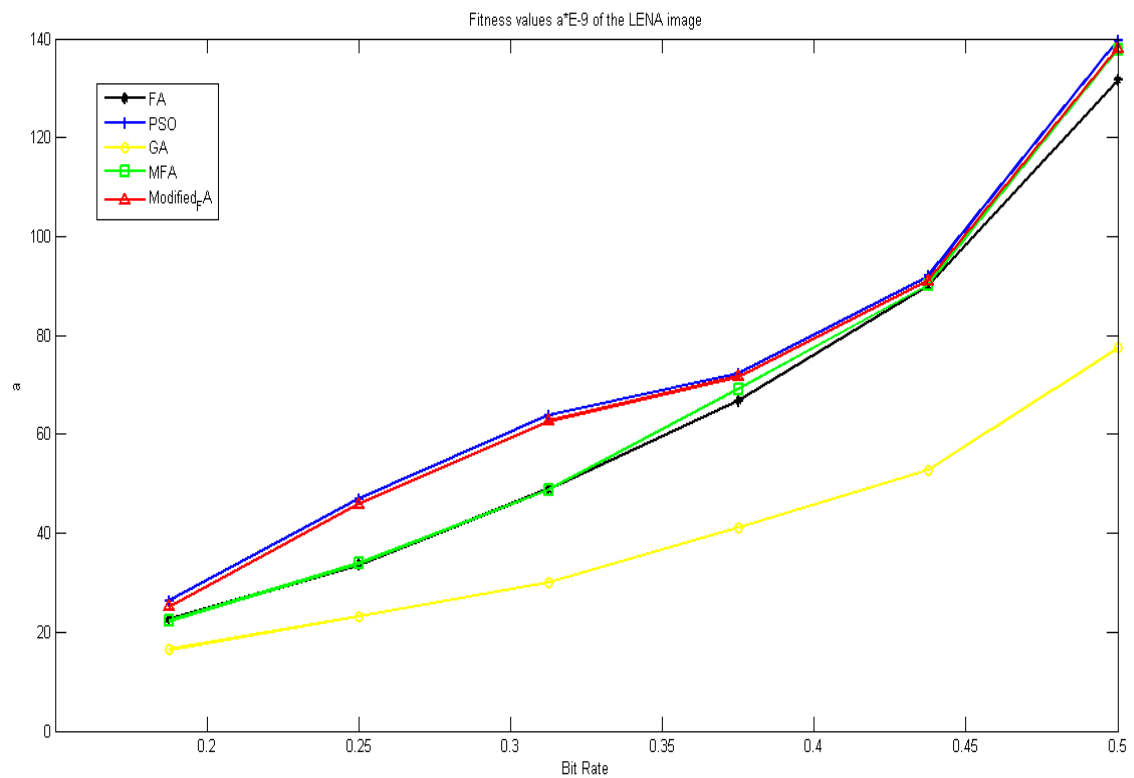




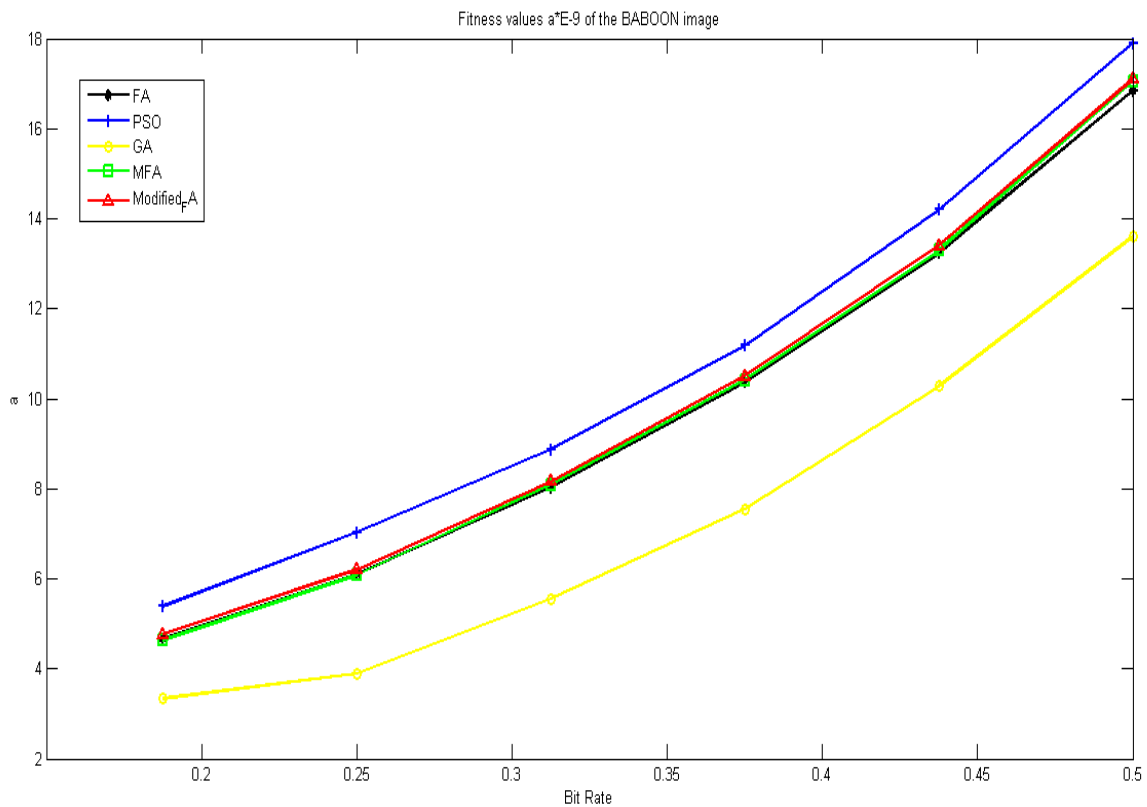
شکل ۷: میانگین PSNR تصویر Baboon در پنج روش چندی‌سازی مختلف



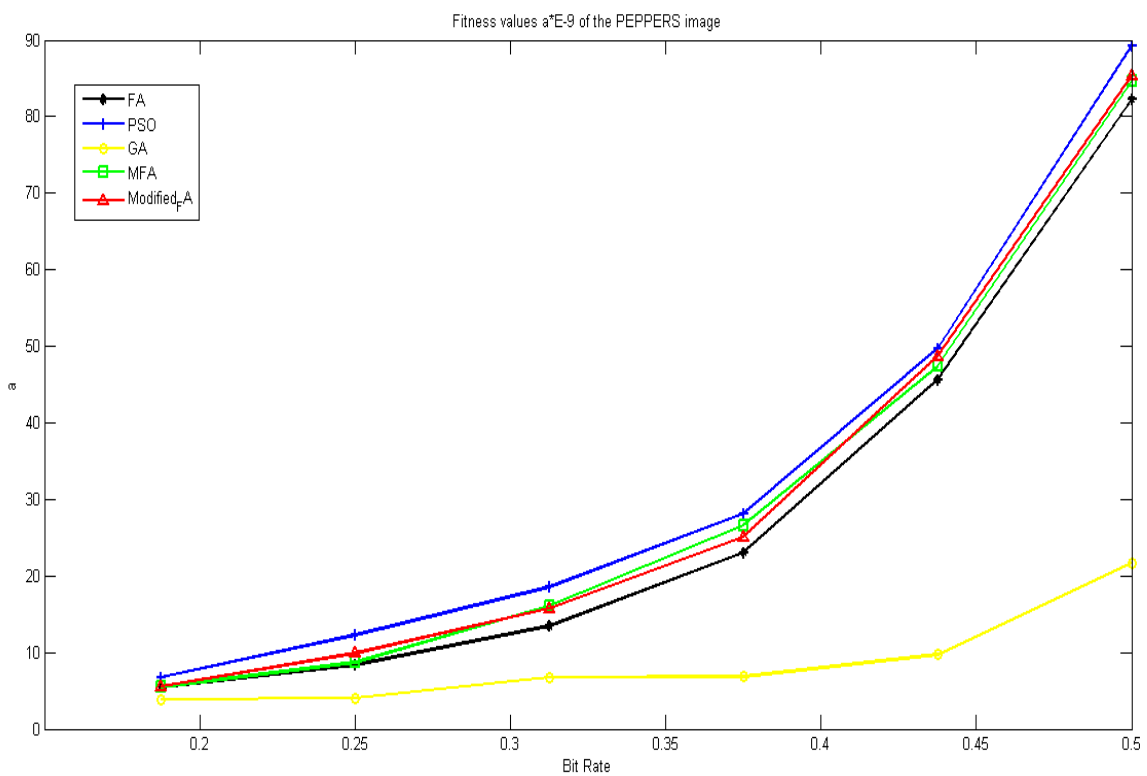
شکل ۸: میانگین PSNR تصویر Peppers در پنج روش چندی‌سازی مختلف



شکل ۹: میانگین مقادیرهای برازش (a\*10<sup>-9</sup>) تصویر Lena در پنج روش چندی‌سازی مختلف



شکل ۱۰: میانگین مقدارهای برازش (a×10-9) تصویر Baboon در پنج روش چندی‌سازی مختلف



شکل ۱۱: میانگین مقدارهای برازش (a×10-9) تصویر Peppers در پنج روش چندی‌سازی مختلف

نشان می‌دهند. نتایج نشان دادند که الگوریتم‌های PSO، GA و FA تقریباً دارای زمان انجام محاسبات یکسانی هستند. الگوریتم MFA

جدول‌های ۴ الی ۹، میانگین زمان‌های محاسباتی سه تصویر را توسط پنج روش چندی‌سازی برداری مختلف با نرخ بیت‌های مختلف

**جدول ۹: میانگین زمان محاسباتی تصاویر آزمایشی مبتنی بر چهار الگوریتم مختلف با نرخ بیت = ۰/۵**

میانگین زمان محاسباتی (ثانیه)					اندازه کتاب کد	
Modified-FA	MFA	FA	GA	PSO		
۳۷۹/۱	۱۵۱/۱	۱۲۹/۲	۱۳۰/۵	۱۲۸/۸	۲۵۶	Lena
۳۷۸/۸	۱۵۵/۲	۱۲۹/۳	۱۳۲/۲	۱۲۶/۶	۲۵۶	Baboon
۳۷۸/۹	۱۶۵/۱	۱۳۰/۱	۱۳۴/۲	۱۲۷/۱	۲۵۶	Peppers

به طور کلی سربار اصلی در روش چندی‌سازی برداری محاسبه مقدار برازش می‌باشد. محاسبه برازش عملی زمان‌بر است. در الگوریتم‌های PSO، GA و FA پیچیدگی محاسباتی تقریباً یکسان است. اگر این پیچیدگی محاسباتی  $O(n^2)$  در نظر گرفته شود، در الگوریتم ModifiedFA به دلیل نیاز به محاسبه چندین باره مقدار برازش، پیچیدگی زمانی برابر با  $O(4n^2)$  است و نشان دهنده زمان اجرای بالای الگوریتم ModifiedFA می‌باشد که حدوداً سه برابر بیشتر از الگوریتم‌های PSO، GA و FA است. الگوریتم MFA به دلیل شرطی شدن حرکت تصادفی آن دارای زمان اجرای متغیری می‌باشد. در بهترین حالت پیچیدگی محاسباتی مشابه الگوریتم FA پایه  $O(n^2)$  دارد. در بدترین حالت پیچیدگی محاسباتی آن  $O(2n^2)$  است و در حالت میانگین برابر  $O(1.5n^2)$  است.

در ادامه شکل‌های ۱۵-۱۳ نتایج فشرده‌سازی سه تصویر Lena، Baboon و Peppers توسط الگوریتم‌های PSO، GA، FA، MFA و ModifiedFA با اندازه کتاب کد ۲۵۶ ارائه شده است. با بررسی تصاویر مشاهده می‌شود که الگوریتم‌های PSO و ModifiedFA تصاویر بازسازی شده با کیفیت تری را تولید کردند.

### ۶- نتیجه و کارهای آینده

در این مقاله الگوریتم ModifiedFA بر پایه عملگر ژنتیکی ترکیب برای چندی‌سازی برداری ارائه شد. برای ارزیابی کارایی الگوریتم پیشنهادی، این الگوریتم با چهار الگوریتم PSO، GA، FA و MFA مقایسه گردید. با توجه به نتایج به دست آمده، الگوریتم PSO بهتر از بقیه الگوریتم‌ها عمل می‌کند. علت قدرتمندی الگوریتم PSO نسبت به بقیه الگوریتم‌ها داشتن قابلیت بهینه محلی و بهینه سراسری آن است. که با بهینه‌سازی بیشتر نتایج، جواب بهتری را ارائه می‌دهد. با افزایش اندازه کتاب کد دو الگوریتم ModifiedFA و PSO رفتار مشابهی نسبت به هم نشان می‌دهند. الگوریتم GA نسبت به چهار روش دیگر عملکرد ضعیف تری دارد. این نشان می‌دهد که ماهیت تصادفی الگوریتم ژنتیک باعث عملکرد ضعیف آن در بازسازی یک تصویر با کیفیت می‌شود. الگوریتم MFA بهتر از الگوریتم FA پایه عمل می‌کند اما در مقایسه با الگوریتم ModifiedFA عملکرد ضعیف تری دارد. به طور کلی نتایج نشان دهنده توانایی بالای الگوریتم پیشنهادی ModifiedFA در افزایش کیفیت تصویر بازسازی شده نسبت به الگوریتم FA پایه، MFA

زمان محاسبات کمتری نسبت به الگوریتم ModifiedFA دارد و نیاز به زمان محاسباتی در اجرای الگوریتم ModifiedFA از همه بیشتر است.

**جدول ۴: میانگین زمان محاسباتی تصاویر آزمایشی مبتنی بر چهار الگوریتم مختلف با نرخ بیت = ۰/۱۸۷۵**

میانگین زمان محاسباتی (ثانیه)					اندازه کتاب کد	
Modified-FA	MFA	FA	GA	PSO		
۱۳/۲۶	۵/۲۳	۴/۶۹	۴/۷۹	۴/۵۹	۸	Lena
۱۲/۸۹	۶/۱۰	۴/۷۶	۴/۸۲	۴/۷۱	۸	Baboon
۱۳/۰۱	۴/۵۹	۴/۷۳	۴/۸۴	۴/۶۶	۸	Peppers

**جدول ۵: میانگین زمان محاسباتی تصاویر آزمایشی مبتنی بر چهار الگوریتم مختلف با نرخ بیت = ۰/۲۵**

میانگین زمان محاسباتی (ثانیه)					اندازه کتاب کد	
Modified-FA	MFA	FA	GA	PSO		
۲۵/۶۰	۱۰/۱۱	۹/۸۹	۹/۰۴	۸/۷۳	۱۶	Lena
۲۵/۴۶	۱۱/۰۲	۸/۹۰	۹/۰۱	۸/۶۱	۱۶	Baboon
۲۵/۵۵	۱۲/۱۰	۸/۸۰	۹/۱۰	۸/۷۴	۱۶	Peppers

**جدول ۶: میانگین زمان محاسباتی تصاویر آزمایشی مبتنی بر چهار الگوریتم مختلف با نرخ بیت = ۰/۳۱۲۵**

میانگین زمان محاسباتی (ثانیه)					اندازه کتاب کد	
Modified-FA	MFA	FA	GA	PSO		
۵۰/۲۳	۲۱/۳۲	۱۷/۰۰	۱۷/۵۱	۱۶/۵۲	۳۲	Lena
۵۰/۲۰	۲۲/۱۰	۱۷/۲۱	۱۷/۶۶	۱۶/۶۶	۳۲	Baboon
۵۰/۱۲	۲۲/۲۱	۱۷/۲۰	۱۷/۶۹	۱۶/۶۹	۳۲	Peppers

**جدول ۷: میانگین زمان محاسباتی تصاویر آزمایشی مبتنی بر چهار الگوریتم مختلف با نرخ بیت = ۰/۳۷۵**

میانگین زمان محاسباتی (ثانیه)					اندازه کتاب کد	
Modified-FA	MFA	FA	GA	PSO		
۹۹/۳۷	۳۸/۵۴	۳۲/۰۸	۳۴/۳۲	۳۲/۳۵	۶۴	Lena
۹۹/۲۰	۳۹/۱۱	۳۲/۷۴	۳۴/۶۸	۳۲/۸۳	۶۴	Baboon
۹۹/۱۴	۳۹/۱۶	۳۲/۰۹	۳۴/۳۱	۳۲/۸۶	۶۴	Peppers

**جدول ۸: میانگین زمان محاسباتی تصاویر آزمایشی مبتنی بر چهار الگوریتم مختلف با نرخ بیت = ۰/۴۳۷۵**

میانگین زمان محاسباتی (ثانیه)					اندازه کتاب کد	
Modified-FA	MFA	FA	GA	PSO		
۱۹۵/۹۵	۷۹/۲۱	۶۵/۰۱	۶۷/۰۶	۶۴/۷۴	۱۲۸	Lena
۱۹۴/۹۹	۸۰/۶۱	۶۵/۷۸	۶۷/۹۶	۶۳/۸۷	۱۲۸	Baboon
۱۹۵/۲۱	۸۵/۲۳	۶۴/۵۶	۶۸/۱۵	۶۴/۳۵	۱۲۸	Peppers

و GA است و کیفیت تصویر فشرده‌شده را نسبت به الگوریتم کرم شب‌تاب پایه حدود یک درصد، افزایش می‌دهد. با توجه به اینکه زمان محاسبات الگوریتم پیشنهادی ModifiedFA بیشتر از سایر روش‌هاست، در کارهای آینده برای افزایش سرعت آن، موازی‌سازی الگوریتم پیشنهادی، دنبال می‌شود.



الف) تصویر اصلی Lena



ب) الگوریتم PSO



ج) الگوریتم GA



د) الگوریتم FA

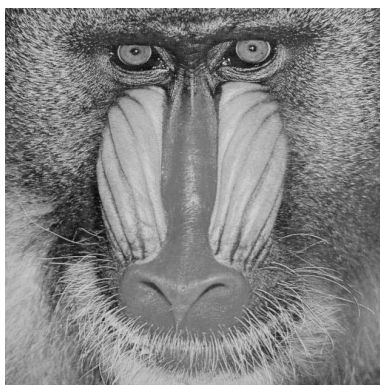


ه) الگوریتم MFA

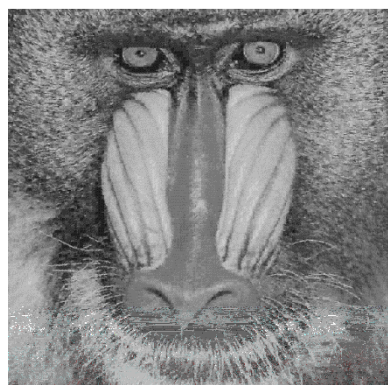


و) الگوریتم MFA

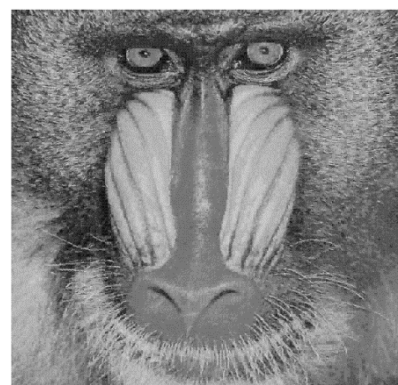
شکل ۱۲: تصاویر بازسازی‌شده Lena مبتنی بر الگوریتم‌های PSO، GA، FA، MFA و ModifiedFA



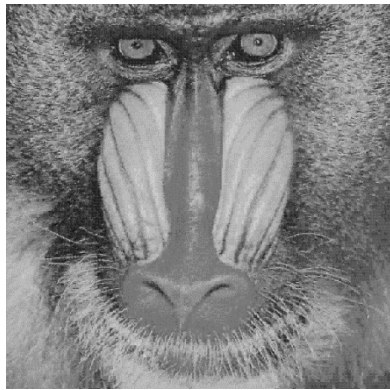
الف) تصویر اصلی Baboon



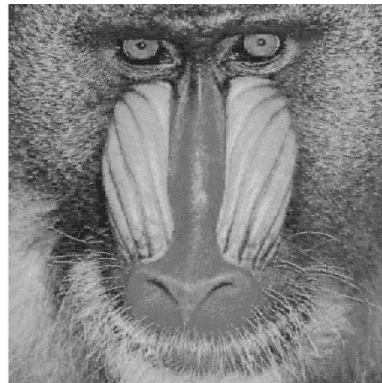
ب) الگوریتم PSO



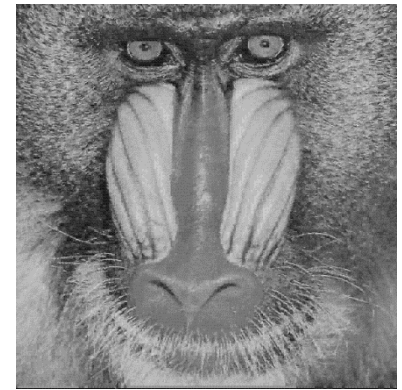
ج) الگوریتم GA



د) الگوریتم FA



ه) الگوریتم MFA

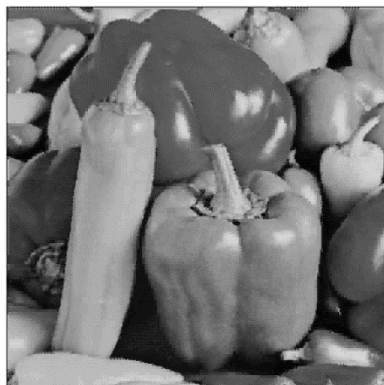


و) الگوریتم ModifiedFA

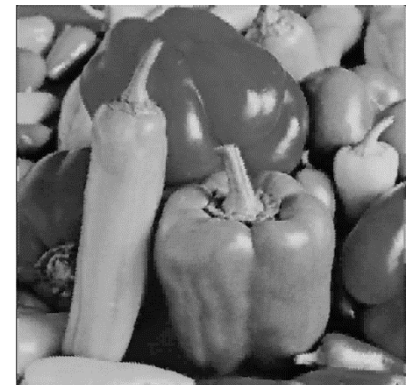
شکل ۱۳: تصاویر بازسازی شده Baboon مبتنی بر الگوریتم‌های PSO، GA، FA، MFA و ModifiedFA



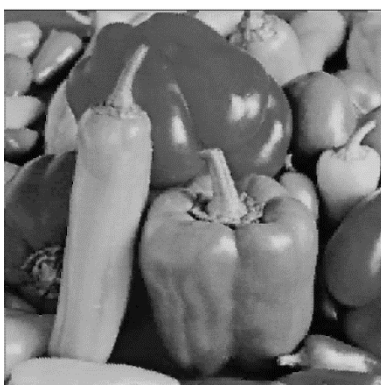
الف) تصویر اصلی Peppers



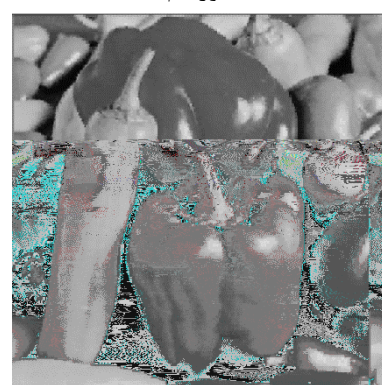
ب) الگوریتم PSO



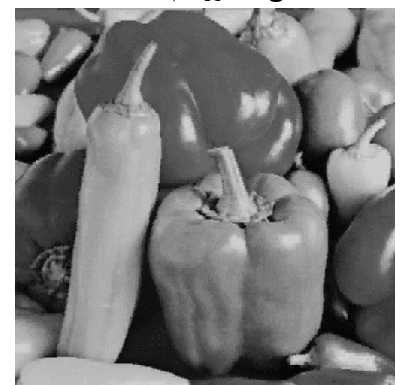
ج) الگوریتم GA



د) الگوریتم FA



ه) الگوریتم MFA



و) الگوریتم ModifiedFA

شکل ۱۴: تصاویر بازسازی شده Peppers مبتنی بر الگوریتم‌های PSO، GA، FA، MFA و ModifiedFA

- [4] K. Sayood, *Data Compression*. Nebraska: Morgan Kaufmann is an Imprint of Elsevier, 2006.
- [5] M. Rehman, M. Sharif, and M. Raza, "Image compression: a survey," *Engineering and Technology*, vol. 7, pp. 656-672, 2014.
- [6] H. B. Kekre, M. Tanjua, and K. Sarode, "Vector quantized codebook optimization using k-means," *International Journal on Computer Science and Engineering*, vol. 3, pp. 283-290, 2009.
- [7] S. A. Salman, "Image compression using vector quantization and genetic algorithms," *Anbar Journal for Engineering Sciences*, vol. 1, pp. 45-58, 2007.
- [8] P. Fränti, "Genetic algorithm with deterministic crossover for vector quantization," *Pattern Recognition Letters*, vol. 21, pp. 61-68, 2000.

## مراجع

- [1] C. C. Chang, Li, T. C., & Yeh, J. B., "Fast codebook search algorithms based on the tree-structured vector quantization," *Pattern Recognition Letters*, vol. 27, pp. 1077-1086, 2006.
- [2] T. S. Chen, & Chang, C. C., "Diagonal axes method (DAM): A fast search algorithm for vector quantization," *IEEE Transactions on Circuit System and Video Technology*, vol. 7, pp. 555-559, 1997.
- [3] M. H. Horng, "Vector quantization using the firefly algorithm for image compression," *Expert Systems with Applications*, vol. 39, pp. 1078-1091, 2012.

- of Computer Vision and Image Processing (IJCVIP), vol. 7, pp. 19-43, 2017.
- [15] V. Severo, H. Leitão, J. Lima, W. Lopes, and F. Madeiro, "Modified firefly algorithm applied to image vector quantisation codebook design," *International Journal of Innovative Computing and Applications*, vol. 7, pp. 202-213, 2016.
- [16] C. Karri and U. Jena, "Fast vector quantization using a bat algorithm for image compression," *Engineering Science and Technology, an International Journal*, vol. 19, pp. 769-781, 2016.
- [17] X. S. Yang, "Firefly algorithms for multimodal optimization," In *Stochastic Algorithms: Foundation and Applications, Lecture Notes in Computer Science*, vol. 5792, pp. 169-178, 2009.
- [18] حسن‌زاده، طاهره و میبیدی، محمدرضا، «الگوریتم کرم شب‌تاب با رویکرد همکارانه»، هفدهمین کنفرانس ملی سالانه انجمن کامپیوتر ایران، انجمن کامپیوتر ایران، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۷-۱۲، ۱۳۹۰.
- [19] کامران پور، مرضیه؛ دکتر مهدی یعقوبی و دکتر پیمان کشاورزبان، «ایجاد یک الگوریتم ممتیک مبتنی بر الگوریتم کرم شب‌تاب و تئوری آشوب»، یازدهمین کنفرانس سراسری سیستم‌های هوشمند، انجمن سیستم‌های هوشمند ایران، دانشگاه خوارزمی، ۷-۱، ۱۳۹۰.
- [9] H. M. Feng, C. Y. Chen, and F. Ye, "Evolutionary fuzzy particle swarm optimization vector quantization learning scheme in image compression," *Expert Systems with Applications*, vol. 32, pp. 213-222, 2007.
- [10] M. Kumar, R. Kapoor, and T. Goel, "Vector quantization based on self-adaptive particle swarm optimization," *International Journal of Nonlinear Science*, vol. 9, pp. 311-319, 2010.
- [۱۱] مؤمنی، آقاصرام؛ شاکر و جمالی، «ارائه یک فیلتر جدید برای حذف نویزهای ضرب‌های و ترکیب فیلتر پیشنهادی با الگوریتم PSO به‌منظور کشف و دفاع در برابر حملات سیل‌آسای SYN»، فصلنامه مهندسی برق دانشگاه تبریز، جلد ۴۶، شماره ۱، صفحات ۳۱۹-۳۱۱، ۱۳۹۵.
- [۱۲] نقش‌بندی و شمس، «پخش بار بهینه مقید به پایداری سیگنال کوچک»، فصلنامه مهندسی برق دانشگاه تبریز، جلد ۴۷، شماره ۳، صفحات ۹۵۰-۹۳۹، ۱۳۹۵.
- [13] K. Chiranjeevi, U. R. Jena, B. M. Krishna, and J. Kumar, "Modified firefly algorithm (MFA) based vector quantization for image compression," in *Computational Intelligence in Data Mining, Volume 2*, ed: Springer, 2016, pp. 373-382.
- [14] K. Chiranjeevi, U. Jena, and S. Dash, "Comparative performance analysis of optimization techniques on vector quantization for image compression," *International Journal*

#### زیرنویس

- 1 Vector Quantization (VQ)
- 2 Codebook Generation
- 3 Encoding
- 4 Decoding
- 5 Codevector
- 6 Training Vector
- 7 Codeword
- 8 Linde-Buzo-Gray
- 9 Swarm Intelligence
- 10 Genetic Algorithm (GA)
- 11 Particle swarm optimization (PSO)
- 12 Firefly Algorithm (FA)
- 13 Distortion Error
- 14 Crossover
- 15 Fitness
- 16 Mutation
- 17 Generalized Lloyd Algorithm (GLA)
- 18 Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR)
- 19 Modified Firefly Algorithm (Modified-FA)
- 20 Maximum Cycle Number (MCL)