

علمی- پژوهشی

ارائه روشی مبتنی بر درج واترمارک در باند میانی تبدیل کسینوسی گسسته با استفاده از

ترکیب الگوریتم ژنتیک و جستجوی ممنوعه

فاطمه زارع مهرجردی<sup>۱</sup>، مریم زارع مهرجردی<sup>۲</sup>، علی محمد لطیف<sup>۳\*</sup>، محمد قاسم زاده<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دکتری هوش مصنوعی و ریباتیک، ۲- کارشناس ارشد هوش مصنوعی و ریباتیک، ۳ و ۴- دانشیار، دانشگاه یزد

(دریافت: ۹۸/۰۴/۲۵، پذیرش: ۹۸/۱۱/۱۲)

چکیده

این مقاله یک روش نوین برای تعیین باند میانی تبدیل کسینوسی گسسته مبتنی بر ترکیب الگوریتم ژنتیک و جستجوی ممنوعه ارائه می‌دهد. مطالعه‌های انجام شده در رابطه با سامانه‌های واترمارکینگ حوزه فرکانس نشان داده‌اند که واترمارک درج شده در باند پایین قابل مشاهده است و از طرفی واترمارک درج شده در باند بالا در برابر حمله‌ها مقاوم نیست و مناسب‌ترین باند برای درج واترمارک، باند میانی است. در تبدیل کسینوسی گسسته نحوه آرایش اجزای فرکانسی از نظمی مانند تبدیل فوریه برخوردار نیست؛ از این رو سعی شده است تا با استفاده از تبدیل فوریه، باند میانی تصویر را استخراج کرده و سپس با استفاده از ترکیب دو الگوریتم ژنتیک و جستجوی ممنوعه، محل دقیق باند میانی تبدیل کسینوسی گسسته متناظر با تبدیل فوریه به دست آورده شود. در این روش به گونه‌ای عمل می‌شود که اختلاف تصویر به دست آمده از اعمال پنجره باند میانی تبدیل کسینوسی گسسته بر روی تصویر با تصویر خروجی باند میانی تبدیل فوریه به حداقل برسد. بدیهی است که از روش ارائه شده برای تعیین پنجره‌های باند پایین و بالای تبدیل کسینوسی گسسته نیز می‌توان استفاده کرد. پس از پیاده‌سازی و انجام آزمایش‌های لازم برای باندهای پایین، میانی و بالا با استفاده از روش پیشنهادی به ترتیب میانگین خطای ۰/۰۰۶۲، ۰/۰۱۴۹ و ۰/۰۰۶۱ به دست آمد. این نتایج در مورد تصاویر استفاده شده نتایج رضایت بخشی می‌باشد.

**کلیدواژه‌ها:** جستجوی ممنوعه، الگوریتم ژنتیک، باند میانی، تبدیل فوریه، تبدیل کسینوسی گسسته

۱- مقدمه

از آن و یا هر گونه تحریف و تغییر تصویر توسط افراد غیر مجاز، صاحب اصلی داده می‌تواند با استخراج سیگنال واترمارک، مالکیت خود را به اثبات برساند و یا محل تغییرهای صورت گرفته بر روی تصویر را مشخص کند [۳].

واترمارکینگ دیجیتال در سال ۱۹۵۴ توسط یکی از مهندسين شرکت موزاک<sup>۱</sup> به نام امیل همبروک ابداع شد [۴]. در این ابداع یک کد شناسایی به صورت نامرئی به فایل حاوی موسیقی دیجیتال وصل شد تا بتواند برای اثبات حق مالکیت به کار برود. از آن زمان به بعد از واترمارکینگ دیجیتالی استفاده‌های فراوانی شد. واترمارکینگ تا سال ۱۹۹۰ به عنوان یک موضوع تحقیقاتی با ارزش، توجه دانشمندان را به خود جلب نکرده بود. از اوایل دهه ۱۹۹۰، این موضوع به عنوان یک موضوع جذاب تحقیقاتی مورد توجه قرار گرفت و تا امروز نیز همچنان جذابیت و اهمیت خود را حفظ کرده است.

بسته به هدف و جنبه کاربردی، روش‌های مختلفی برای واترمارکینگ وجود دارد. در مقاله [۵] روش‌های مختلف برای واترمارکینگ از نقطه نظرات گوناگونی بررسی شده است. در یک

در سال‌های اخیر، به علت اتصال تعداد بی‌شماری از رایانه‌های شخصی به شبکه جهانی اینترنت، انفجاری در توزیع و استفاده آسان از داده‌های دیجیتال چندرسانه‌ای به وقوع پیوسته است. یکی از روش‌ها برای حفاظت از محصول‌های دیجیتال چندرسانه‌ای در برابر کپی‌های غیر مجاز و حفظ حق نشر آن، واترمارکینگ<sup>۱</sup> است. در روش‌های واترمارکینگ، یک سیگنال پنهانی به نام واترمارک، در داده درج می‌شود و همواره در آن باقی می‌ماند [۱]. لازم به ذکر است برای استفاده از داده واترمارک شده، نیازی به برداشتن سیگنال واترمارک نیست زیرا این سیگنال به گونه‌ای در داده میزبان درج می‌شود که تأثیر نامطلوبی بر داده اصلی نمی‌گذارد.

در واترمارکینگ داده در تصویر، چشم انسان نباید تفاوت بین تصویر اصلی و تصویر واترمارک شده را حس کند که به این خصوصیت شفافیت گفته می‌شود [۲]. در صورت هر گونه استفاده غیر مجاز از تصویر واترمارک شده، مانند کپی غیر مجاز

\* رایانامه نویسنده مسئول: alatif@yazd.ac.ir

<sup>۱</sup> Watermarking

<sup>۲</sup> Muzac

در این تحقیق از ترکیب دو الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک و جستجوی ممنوعه، جهت یافتن پنجره<sup>۴</sup> باند میانی تبدیل کسینوسی گسسته به منظور درج سیگنال واترمارک استفاده شده است. در ادامه برخی از کارهای انجام شده در زمینه واترمارکینگ معرفی می‌شوند.

در سال ۱۹۹۷ روشی برای درج واترمارک جهت داشتن هم‌زمان شفافیت و مقاومت ارائه شد. در این روش، با محاسبه حجم واترمارک سعی شد تا واترمارک را در محل‌هایی که اثر کمتری روی دستگاه بینایی انسان دارد بیش‌تر درج کنند و در محل‌های حساس برای دستگاه بینایی، حجم کم‌تری از واترمارک را درج کنند [۱۵].

در سال ۲۰۰۳ روشی در حوزه تبدیل کسینوسی گسسته و با استفاده از روش خوشه‌بندی فازی و سامانه بصری انسان ارائه شد تا قدرت تعبیه بلوک‌های مختلف را با توجه به طبقه‌بندی بلوک تطبیق دهد [۱۶]. در سال ۲۰۰۴ از خوشه‌بندی وفقی بلوک‌های تصویر با استفاده از منطق فازی استفاده شد [۱۷].

در سال ۲۰۰۷ از الگوریتم ژنتیک برای ایجاد توازن بین شفافیت و مقاومت سامانه واترمارکینگ بهره گرفته شد. در این روش برای افزایش امنیت از تبدیل آرنولد<sup>۵</sup> برای به‌هم‌ریزی واترمارک استفاده شد. آن‌ها با تعریف تابع برازندگی<sup>۶</sup>، تعداد تکرار تبدیل آرنولد را محاسبه نمودند [۱۸].

در سال ۲۰۰۹ برای به‌دست آوردن مناسب‌ترین مقاومت و شفافیت واترمارک، از الگوریتم ژنتیک برای انتخاب وفقی ضرایب باند میانی تبدیل کسینوسی گسسته [۱۹]، و نیز در سال ۲۰۱۰ از الگوریتم ژنتیک برای محاسبه باند فرکانسی مناسب جهت درج واترمارک استفاده شد [۲۰].

در سال ۲۰۱۱ با استفاده از تجزیه تک مقدار و الگوریتم ژنتیک به یک تعادل بین شفافیت و مقاومت واترمارک دست یافته شد. در این روش از مشخصات آماری محلی تصویر و الگوریتم ژنتیک بهره گرفته شد [۲۱].

مقاله [۲۲] یک روش برای واترمارکینگ با استفاده از روش جستجوی ممنوعه ارائه می‌دهد که در برابر فشرده‌سازی و حمله‌ها مقاوم است. از الگوریتم جستجوی ممنوعه برای پیدا کردن نواحی از تصویر که شامل سطح بالایی از اطلاعات است، استفاده می‌شود. زمان اجرای فرآیند، به وسیله انتخاب ناحیه مورد نظر و درج واترمارک در حوزه مکان صرفه‌جویی می‌شود. از تبدیل موجک برای پیدا کردن باند مناسب جهت درج واترمارک استفاده شده است.

دسته‌بندی با توجه به نوع سندی که واترمارک می‌شود چهار نوع سامانه واترمارکینگ وجود دارد: متن، صوت، تصویر و ویدئو. در دسته‌بندی دیگری از نقطه‌نظر مرئی بودن واترمارک درون سند، دو نوع روش وجود دارد: روش‌هایی که واترمارک درج شده در سند قابل مشاهده و مرئی است و روش‌هایی که دارای واترمارک نامرئی است.

سامانه‌های واترمارکینگ مقاوم، نیمه مقاوم و شکننده سه دسته سامانه واترمارکینگ در دسته‌بندی از نقطه نظر مقاومت<sup>۱</sup> آن‌ها در برابر حمله‌های مختلف به حساب می‌آیند.

از دیدگاه نوع داده‌ای که به‌عنوان واترمارک در سند درج می‌شود، این سامانه‌ها به دو دسته واترمارک از نوع اختلال و واترمارک از نوع تصویر تقسیم می‌شوند.

مهم‌ترین دسته‌بندی، مربوط به انواع روش‌های پردازشی و دامنه جاسازی واترمارک است. از این نظر سامانه‌های واترمارکینگ به چهار دسته تقسیم می‌شوند: پردازش‌های دامنه مکانی، پردازش‌های دامنه فرکانسی، پردازش‌های دامنه فشرده‌سازی و پردازش‌های مرکب.

سامانه‌های واترمارکینگ دارای ویژگی‌های مختلفی هستند. از مهم‌ترین این ویژگی‌ها می‌توان به شفافیت و مقاومت اشاره کرد. مقاومت، میزان تغییر ناپذیری سیگنال واترمارک را در برابر انواع دستکاری‌های عمدی و غیر عمدی نشان می‌دهد. شفافیت، میزان شباهت تصویر اصلی و تصویر واترمارک شده را نشان می‌دهد. این دو ویژگی در تضاد با یکدیگر هستند. با افزایش میزان شفافیت، مقاومت کاهش می‌یابد و با کاهش میزان شفافیت، مقاومت افزایش می‌یابد [۶].

از تبدیل‌های استفاده شده در سامانه‌های واترمارکینگ تبدیل فوریه، تبدیل کسینوسی گسسته<sup>۲</sup> و تبدیل موجک گسسته<sup>۳</sup> را می‌توان نام برد. در این تحقیق از تبدیل کسینوسی گسسته به دلیل سازگاری با سامانه بینایی انسان استفاده می‌شود [۷-۱۱].

تبدیل کسینوسی گسسته، از جمله تبدیل‌هایی است که در سامانه‌های واترمارکینگ، پردازش را در حوزه فرکانس انجام می‌دهد. درج سیگنال واترمارک در باند فرکانس پایین، تضمین کننده مقاومت بالا است ولی شفافیت را تضمین نمی‌کند. همچنین درج واترمارک در باند فرکانس بالا، تضمین کننده شفافیت بالا و مقاومت کم در مقابل حمله‌ها و فشرده‌سازی خواهد بود. بنابراین در این سامانه‌ها در اکثر موارد برای برقراری توازن مناسب، واترمارک را در باندهای فرکانسی میانی یک تصویر جاسازی می‌کنند [۱۴-۱۲].

<sup>4</sup> Mask

<sup>5</sup> Arnold Transform

<sup>6</sup> Fitness Function

<sup>1</sup> Robustness

<sup>2</sup> Discrete Cosine Transform (DCT)

<sup>3</sup> Discrete Wavelet Transform (DWT)

در مقاله [۲۹] یک روش واترمارکینگ تصاویر متنی با استفاده از تبدیل موجک اعداد صحیح و تبدیل کسینوسی گسسته انجام شده است، در این روش از تصویر میزبان تبدیل موجک اعداد صحیح گرفته شده و در ادامه از تصویر تخمینی به دست آمده، تبدیل کسینوسی گسسته گرفته می‌شود، در این مرحله تصویر واترمارک جاسازی می‌شود و در ادامه تبدیل کسینوسی گسسته معکوس و سپس تبدیل موجک اعداد صحیح معکوس گرفته شده و تصویر واترمارک شده به دست آمده است.

در مقاله [۳۰] به منظور واترمارک کردن اطلاعات و همچنین مقاوم سازی آن‌ها از روش تبدیل گراف محور استفاده شده است، در این روش با استفاده از الگوریتم ژنتیک بهترین ساختار گراف استخراج شده است به طوری که واترمارک با مقاومت در برابر حمله‌ها انجام شود.

در این مقاله طی دو مرحله سعی شده است تا باند میانی تبدیل کسینوسی گسسته متناظر با باند میانی تبدیل فوری به دست آید. در مرحله اول از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است و جواب بهینه حاصل شده از الگوریتم ژنتیک در مرحله دوم با استفاده از الگوریتم جستجوی ممنوعه بهبود داده شده است.

ساختار مقاله به فرم زیر است: در بخش دوم مفاهیم اولیه بیان می‌شود. در بخش سوم روش پیشنهادی و بخش چهارم نتایج پیاده سازی مطرح می‌شود. نتیجه گیری‌های لازم در بخش پایانی ارائه می‌شود.

## ۲- دانش پیش زمینه

در این بخش دو الگوریتم مورد استفاده در این پژوهش، الگوریتم ژنتیک و الگوریتم جستجوی ممنوعه آورده شده است.

### ۲-۱- الگوریتم ژنتیک

ایده اصلی الگوریتم ژنتیک از نظریه تکاملی داروین گرفته شده است. نظریه داروین به این شرح است که آن دسته از صفات طبیعی که با قوانین طبیعی سازگاری بیشتری دارند، شانس بقای بیشتری دارند. شایان ذکر است که نظریه تکاملی داروین هیچ اثبات تحلیلی و قطعی ندارد؛ اما از نظر تجربی و آماری تأیید شده است.

افراد جدید یک جامعه از طریق زاد و ولد تولید می‌شوند. شانس بقای یک فرد در نسل جدید به ترکیب خاص کروموزومی وابسته است. در مراحل زاد و ولد ممکن است جهش‌هایی در خصوصیت‌های نسل جدید رخ دهد که در نتیجه موجودی با سازگاری بالا تولید شود. در روند زاد و ولد، به گونه‌های برتر در هر نسل، اجازه تولید مثل داده می‌شود و گونه‌های نامطلوب به

در مقاله [۲۳] یک روش برای انتخاب باند میانی تبدیل کسینوسی گسسته با استفاده از الگوریتم جستجوی ممنوعه ارائه شده است. نتایج آزمایش‌های انجام شده به ازای ورود حمله‌های مختلف، مقاومت مناسب سامانه واترمارکینگ را نشان می‌دهد.

در مقاله [۲۴] روشی جهت تعیین قوت واترمارک ارائه شده است. در این مقاله برای درج واترمارک از تبدیل کسینوسی گسسته استفاده شده است. با توجه به اینکه شفافیت و مقاومت در تضاد با یکدیگر هستند، جهت برقراری توازن و انتخاب قوت واترمارک از الگوریتم رقابت استعماری استفاده شده است. این روش با داشتن پیچیدگی محاسباتی کم‌تر، قوت واترمارک مناسبی را ارائه کرده است.

در مقاله [۲۵] یک روش واترمارکینگ با استفاده از گشتاورهای هندسی و مختلط پیاده‌سازی شده است. دلیل استفاده از گشتاورهای مختلط، ثابت بودن دامنه آن‌ها در برابر اکثر حمله‌ها بوده است. برای تضمین شفافیت نیز از چندی کردن دامنه استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد روش پیشنهادی تا حدودی مقاومت و شفافیت را بهبود بخشیده است و در برابر حمله چرخش و برش تصویر واترمارک با دقت زیادی استخراج می‌شود.

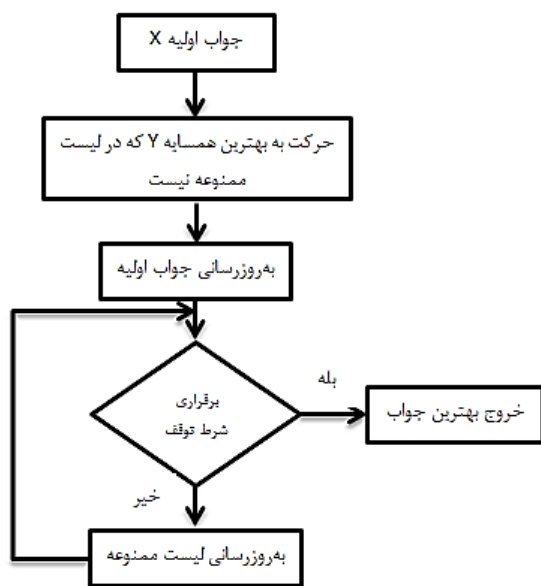
در مقاله [۲۶] یک روش واترمارکینگ در حوزه تبدیل موجک گسسته سه سطحی برای تصاویر دیجیتال پیشنهاد شده است. در این مقاله به منظور افزایش ظرفیت سامانه واترمارکینگ، از روش چندی‌سازی بهبود یافته مقیاس خاکستری استفاده شده است. سپس از نتیجه حاصل، تبدیل آرنولد گرفته می‌شود. این تبدیل تغییرات پیکسل‌ها را بعد از اعمال حمله، در کل تصویر پخش می‌کند و این باعث افزایش شفافیت می‌شود.

در مقاله [۲۷] یک سامانه واترمارکینگ معرفی شده است که در دامنه تبدیل فوری تعبیه شده است که باعث مقاومت در برابر حمله‌های هندسی می‌شود، زیرا تغییرات مکانی و هندسی روی فاز تأثیر می‌گذارد و دامنه تغییری نمی‌کند. همچنین با استفاده از منطق فازی و سامانه بینایی انسان سامانه پیشنهادی توانسته است استحکام و شفافیت واترمارکینگ را به‌طور قابل توجهی افزایش دهد.

در مقاله [۲۸] یک روش برای افزایش استحکام واترمارکینگ با یک روش ترکیبی بر اساس تبدیل کسینوسی گسسته ارائه شده است. در مرحله اول شدت تعبیه واترمارکینگ بر اساس انواع بافت با استفاده از ماشین بردار پشتیبان تعیین شده است و در مرحله دوم موقعیت واترمارک بر اساس الگوریتم ژنتیک بهینه تعبیه شده است. روش پیشنهادی بهبود معناداری را در شفافیت و استحکام تحت انواع مختلف حمله‌ها نشان می‌دهد.

برای رسیدن به جواب بهینه در یک مسئله بهینه‌سازی، الگوریتم جستجوی ممنوعه ابتدا از یک جواب اولیه شروع به حرکت می‌کند. سپس الگوریتم، بهترین جواب همسایه را از میان همسایه‌های جواب فعلی انتخاب می‌کند. در صورتی که این جواب در فهرست ممنوعه قرار نداشته باشد، الگوریتم به جواب همسایه حرکت می‌کند؛ در غیر این صورت الگوریتم معیاری به نام معیار تنفس را چک خواهد کرد.

بر اساس معیار تنفس اگر جواب همسایه از بهترین جواب تاکنون یافت شده بهتر باشد، الگوریتم به آن حرکت خواهد کرد. پس از حرکت الگوریتم به جواب همسایه، فهرست ممنوعه به‌روزرسانی می‌شود؛ به این معنا که حرکت قبل که به وسیله آن به جواب همسایه حرکت شده در فهرست ممنوعه قرار داده می‌شود تا از بازگشت مجدد الگوریتم به آن جواب و ایجاد سیکل جلوگیری شود. بدیهی است فهرست ممنوعه ابزاری است که توسط آن از قرار گرفتن الگوریتم در بهینه محلی جلوگیری می‌شود.



شکل (۲): روندنمای الگوریتم جستجوی ممنوعه [۳۲].

پس از قرار دادن حرکت قبلی در فهرست ممنوعه، تعدادی از حرکت‌هایی که از قبل در فهرست ممنوعه قرار گرفته بودند از فهرست خارج می‌شوند. مدت زمانی که حرکت‌ها در فهرست ممنوعه قرار می‌گیرند توسط یک پارامتر که زمان ممنوعه نام دارد تعیین می‌شود.

حرکت از جواب فعلی به جواب همسایه تا جایی ادامه می‌یابد که شرط خاتمه دیده شود. شرط‌های خاتمه متفاوتی می‌تواند برای الگوریتم در نظر گرفت. به‌طور مثال محدودیت تعداد حرکت به جواب همسایه می‌تواند یک شرط خاتمه باشد [۳۰].

تدریج از بین خواهند رفت و افراد نسل‌های جدید با گذشت زمان تکامل می‌یابند.

الگوریتم ژنتیک در سال ۱۹۷۰ میلادی توسط جان هلند ارائه شد. این الگوریتم در گروه الگوریتم‌های بهینه‌سازی تصادفی قرار دارد و برای بهینه‌سازی مسائل پیچیده با فضای جستجوی ناشناخته مناسب است [۳۱].

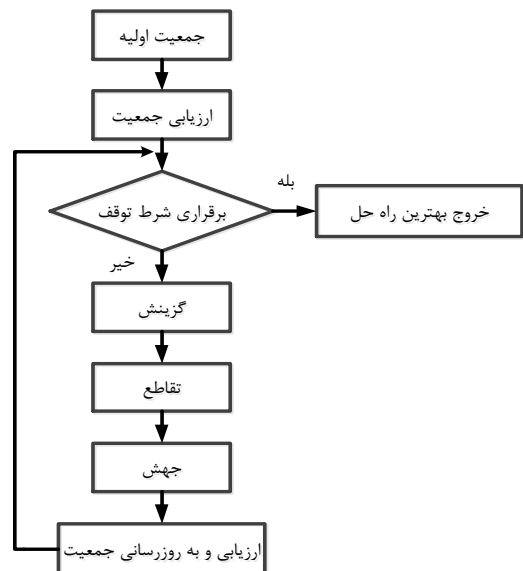
مراحل اجرای الگوریتم ژنتیک در زیر به صورت خلاصه بیان شده است:

در شروع الگوریتم مجموعه‌ای تصادفی از نامزدهای جواب که جمعیت اولیه نامیده می‌شوند، تولید و در هر نسل با نامزدهای جدیدی جایگزین می‌شوند.

در هر تکرار الگوریتم، جمعیت توسط تابع برازندگی ارزیابی می‌شود. سپس تعدادی از بهترین نامزدها برای نسل بعد گزینش می‌شوند و جمعیت جدید را تشکیل می‌دهند.

تعدادی از این جمعیت با استفاده از اپراتورهای ژنتیکی نظیر تقاطع و جهش برای تولید فرزندان جدید استفاده می‌شوند.

مراحل فوق تا رسیدن به یک پاسخ مناسب ادامه می‌یابد. مراحل مطرح شده برای اجرای الگوریتم ژنتیک در قالب یک روند نما در شکل (۱) مشاهده می‌شود.



شکل (۱): روندنمای الگوریتم ژنتیک [۲۹].

## ۲-۲- الگوریتم جستجوی ممنوعه

الگوریتم جستجوی ممنوعه یک الگوریتم بهینه‌سازی فرا ابتکاری است که برای اولین بار در سال ۱۹۸۶ میلادی توسط گلوور معرفی شد. ساختار کلی الگوریتم جستجوی ممنوعه در زیر به صورت خلاصه بیان شده است. شکل (۲) روندنمای الگوریتم جستجوی ممنوعه را نشان می‌دهد.

### ۳- روش پیشنهادی

روش پیشنهادی در این مقاله از الگوریتم ژنتیک برای یافتن پاسخ مناسب برای پنجره باند میانی تبدیل کسینوسی گسسته در سطح اولیه و الگوریتم جستجوی ممنوعه برای بهبود دادن پاسخ دریافتی از الگوریتم ژنتیک در سطح ثانویه استفاده کرده است.

در این قسمت برخی از واژگان الگوریتم ژنتیک و تخصیص آن‌ها به پارامترهای مسئله بیان می‌شود. برای حل هر مسئله با استفاده از الگوریتم ژنتیک، باید بتوان آن مسئله را به صورت یک بردار مدل کرد که به آن بردار کروموزوم گویند. هر کروموزوم تعدادی ژن دارد که مقادیر مجاز برای هر ژن بسته به مسئله متفاوت است.

برای نمایش کروموزوم‌ها در این مقاله به این ترتیب عمل می‌شود که تصویر اصلی به بلوک‌های هم اندازه‌ای که کل تصویر را پوشش می‌دهند، تقسیم می‌شود. کروموزوم مدنظر به تعداد بلوک‌های تشکیل دهنده تصویر اصلی، ژن دارد. مقادیر مجاز برای هر ژن، صفر و یک در نظر گرفته می‌شود. با مشخص شدن نحوه نمایش کروموزوم‌ها می‌توان جمعیت اولیه را تولید کرد. شکل (۳) نحوه ساخت کروموزوم را با توجه به آنچه گفته شد برای استفاده در الگوریتم ژنتیک نشان می‌دهد.

برای تعریف تابع هدف که معیاری برای ارزیابی میزان برازندگی کروموزوم‌ها می‌باشد، مراحل زیر انجام می‌شود:

باند میانی تصویر با استفاده از تبدیل فوریه طی سه مرحله، (۱) اعمال تبدیل فوریه بر روی تصویر اصلی (۲) اعمال ماسک باند میانی تبدیل فوریه بر روی تصویر حاصل شده از مرحله قبل (۳) اعمال معکوس تبدیل فوریه بر روی تصویر حاصل شده از مرحله قبل به دست می‌آید که تصویر J نامیده می‌شود.

در ادامه تبدیل کسینوسی گسسته بر روی تصویر اصلی، اعمال می‌شود و تصویر حاصل، تصویر I نامیده می‌شود. اختلاف تصویر خروجی حاصل شده از اعمال کروموزوم انتخابی (به عنوان یک پاسخ نامزد برای پنجره باند میانی تبدیل کسینوسی گسسته) بر روی تصویر I (که تصویر حاصل، تصویر باند میانی تبدیل کسینوسی گسسته نامیده می‌شود) با تصویر J به دست می‌آید. توجه داشته باشید که قبل از اعمال کروموزوم بر روی تصویر I، باید کروموزوم که یک بردار است به ماتریس تبدیل شود و با تصویر I هم اندازه شود (شکل ۴). برای این کار به ازای مکان‌هایی در کروموزوم تغییر شکل یافته (قسمت الف شکل ۴) که مقدار یک دارند بلوکی هم اندازه بلوک اشاره شده حاوی مقادیر یک قرار داده می‌شود و به ازای مکان‌هایی که مقدار صفر دارند بلوکی شامل عدد صفر قرار

داده می‌شود (قسمت ب شکل ۴).

مراحل ذکر شده برای تعریف تابع هدف در شکل (۵) نمایش داده شده است. لازم به ذکر است باند میانی حوزه DCT به صورت تصادفی و کروموزوم الگوریتم فراابتکاری است. با محاسبه اختلاف دو تصویر، برازندگی کروموزوم‌ها محاسبه می‌شود و به روزرسانی کروموزوم‌ها انجام می‌گیرد، این روند تا زمانی که اختلاف بین دو تصویر به حداقل ممکن برسد ادامه می‌یابد.

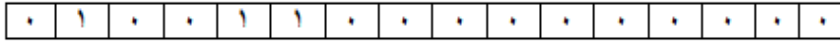
میزان برازندگی به دست آمده، با توجه به اندازه تصویر اصلی متفاوت است. به طوری که اگر تصویر اصلی بزرگ انتخاب شود اختلاف به دست آمده از گام ۳ در تعریف تابع هدف عدد بزرگ تری را نسبت به موقعی که تصویر اصلی، تصویر کوچکی است نشان می‌دهد. از این رو برای محاسبه برازندگی، اعداد به دست آمده بر اندازه تصویر تقسیم می‌شوند تا به طور متوسط میزان اختلاف به ازای هر پیکسل به دست آید.

در این مقاله از تقاطع یک نقطه‌ای و دو نقطه‌ای و جهش به نحوی که مقادیر دو ژن را با هم جابه‌جا می‌کند به عنوان عملگرهای ژنتیکی استفاده شده است.

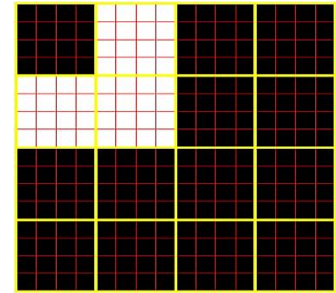
الگوریتم ژنتیک تا رسیدن به شرط خاتمه اجرا می‌شود و در نهایت پاسخ نتیجه شده از الگوریتم ژنتیک به الگوریتم جستجوی ممنوعه ارسال می‌شود. چون فضای حالت زیاد است و همگرا شدن الگوریتم زمان‌بر است، با الگوریتم ژنتیک یک تخمین اولیه محاسبه می‌شود سپس ادامه بهینه‌سازی را الگوریتم جستجوی ممنوعه انجام می‌دهد.

جدول (۱) پارامترهای لازم برای الگوریتم ژنتیک به همراه مقادیرشان را نشان می‌دهد.

برای کار با الگوریتم جستجوی ممنوعه، کروموزوم دریافتی از الگوریتم ژنتیک به شکل ماتریسی هم اندازه تصویر اصلی درآورده می‌شود. ماتریس حاصل دوباره به بلوک‌های هم اندازه‌ای که ابعاد آن‌ها کوچک‌تر از بلوک‌های ذکر شده است تقسیم می‌شود. به ازای مکان‌هایی در ماتریس که بلوک مقدار یک دارد در کروموزوم یک گذاشته می‌شود و به ازای بلوک‌هایی با مقادیر صفر، در کروموزوم مقدار صفر گذاشته می‌شود. با این کار تعداد ژن‌های کروموزوم افزایش می‌یابد. قسمت‌های الف و ب در شکل (۶) کروموزوم دریافتی از الگوریتم ژنتیک که همان کروموزوم شکل (۳) است را طی مراحل ذکر شده به کروموزوم مناسب برای کار با الگوریتم جستجوی ممنوعه تبدیل می‌کند.

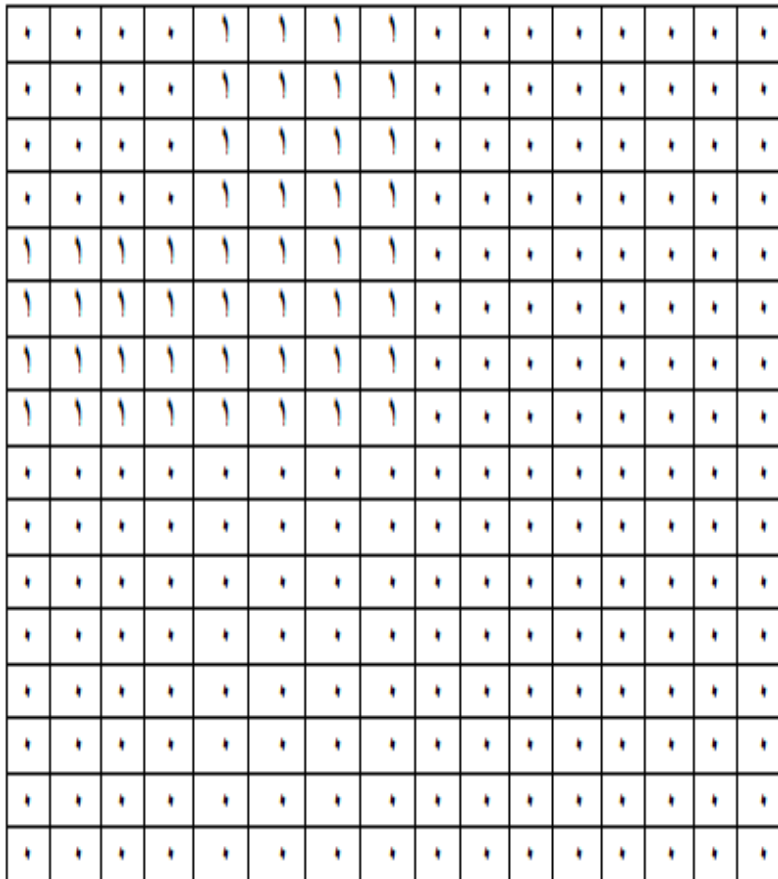


ب) کروموزوم شامل مقادیر مجاز

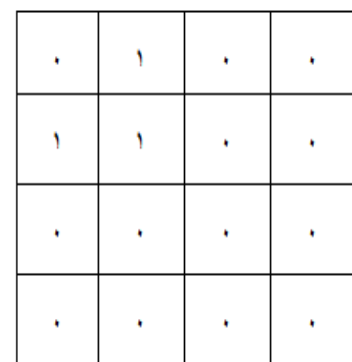


الف) شکستن تصویر  $16 \times 16$  به بلوک‌های  $4 \times 4$

شکل (۳): ساخت یک کروموزوم با مقادیر مجاز برای نمایش.

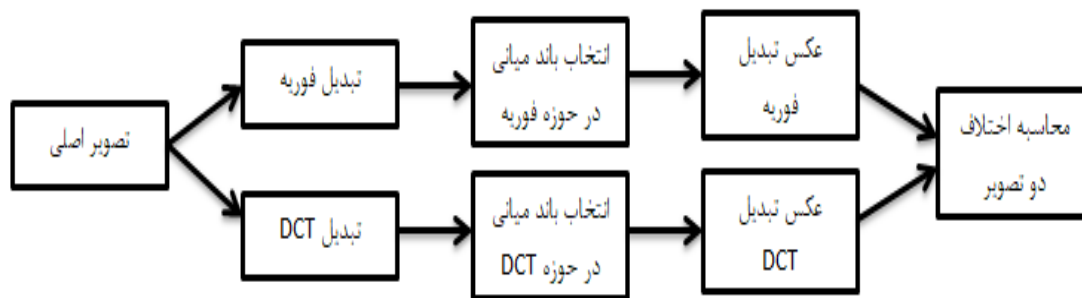


ب) هم اندازه کردن ماتریس قسمت الف با تصویر اصلی



الف) تبدیل کروموزوم شکل (۳) به ماتریس

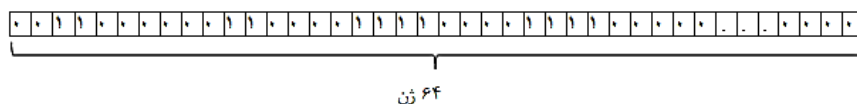
شکل (۴): تبدیل کروموزوم به ماتریس و سپس هم اندازه کردن آن با تصویر اصلی.



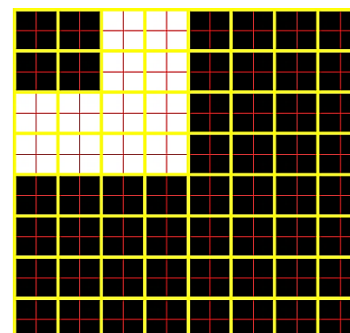
شکل (۵): محاسبه تابع برازندگی.

جدول (۱): پارامترها و مقادیر الگوریتم ژنتیک.

مقدار	پارامتر
۱۵	جمعیت هر نسل
٪۶۰	نرخ تقاطع
٪۳۰	نرخ جهش
٪۱۰	نرخ انتقال مستقیم
چرخ رولت <sup>۱</sup> ، تورنمنت <sup>۲</sup> ، تصادفی	روش انتخاب والدین
تعداد تکرارهای مشخص شده توسط کاربر	شرط خاتمه



ب) ساخت کروموزوم با تعداد ژن‌های بیش‌تر برای کار با الگوریتم جستجوی ممنوعه



الف) شکستن بلوک‌های شکل (۳) به بلوک‌های کوچک‌تر

شکل (۶): ساختن کروموزوم برای الگوریتم جستجوی ممنوعه.

<sup>1</sup> Roulette Wheel

<sup>2</sup> Tournament

لازم به ذکر است که الگوریتم جستجوی ممنوعه، الگوریتم زمان‌بری است با این وجود هرچه بلوک‌ها کوچک‌تر یا مقدار  $N$  بزرگ‌تر فرض شود، این الگوریتم زمان‌برتر می‌شود؛ زیرا تعداد عمل‌های جابه‌جایی افزایش می‌یابد. بدیهی است این افزایش باعث افزایش دقت تعیین پنجره موردنظر می‌گردد.

از روش پیشنهادی ارائه‌شده می‌توان برای تعیین پنجره باند پایین و بالای تبدیل کسینوسی گسسته نیز استفاده کرد.

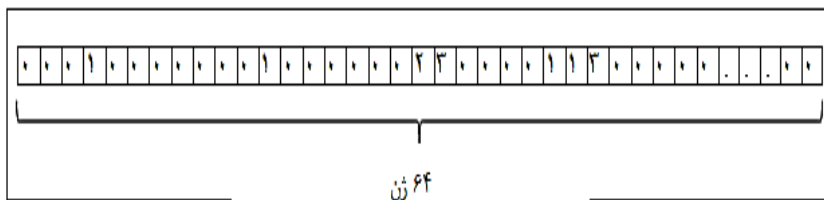
#### ۴- نتایج و بحث

در این بخش نتایج به‌دست آمده از اجرای روش پیشنهادی بر روی تصویر "مرد عکاس" برای تعیین پنجره باند میانی، پایین و بالای تبدیل کسینوسی گسسته نشان داده می‌شود.

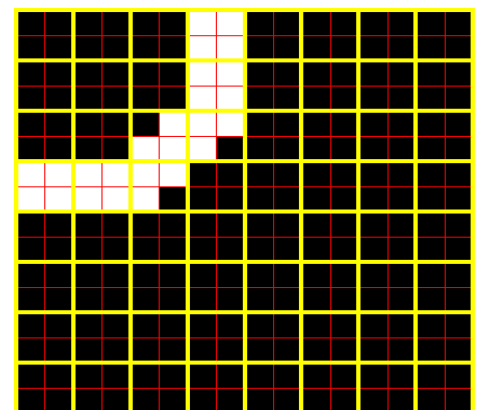
در این پژوهش لیستی از عمل‌های مجاز در الگوریتم جستجوی ممنوعه تعریف می‌شود که هر ژن از کروموزوم می‌تواند با مقادیر صفر تا  $N$  که مقدار  $N$  توسط کاربر مشخص می‌شود، عوض شود. هر کدام از این اعداد معادل با بلوکی هستند که با آرایش خاصی از صفر و یک پر شدند. شکل (۷) تعدادی از بلوک‌های معادل با اعداد تعیین شده توسط کاربر را نشان می‌دهد. برای محاسبه برازندگی کروموزوم در الگوریتم جستجوی ممنوعه و تبدیل کروموزوم به ماتریس هم اندازه با تصویر اصلی، هر مقدار در کروموزوم با بلوکی معادل عدد موجود در موقعیت ژن جاگذاری می‌شود. الگوریتم جستجوی ممنوعه به تعداد تکراری که توسط کاربر مشخص می‌شود تکرار می‌شود. شکل (۸) کروموزوم و پنجره معادل با آن کروموزوم را پس از تعدادی تکرار الگوریتم جستجوی ممنوعه نشان می‌دهد.

صفر	
یک	
دو	
سه	
چهار	
پنج	

شکل (۷): بلوک‌های  $2 \times 2$  متناظر با برخی اعداد (بلوک‌های سفید رنگ حاوی مقدار یک و سیاه رنگ حاوی مقدار صفر هستند).



ب) کروموزوم معادل با پنجره قسمت الف



الف) پنجره باند میانی حاصل پس از چندین تکرار الگوریتم جستجوی ممنوعه

شکل (۸): کروموزوم حاصل پس از اعمال الگوریتم جستجوی ممنوعه.

گسسته به‌دست آمده از الگوریتم ژنتیک و اعمال آن بر روی تصویر I و پنجره باند فرکانسی میانی تبدیل کسینوسی گسسته ناشی شده از الگوریتم جستجوی ممنوعه و اعمال آن بر روی

در شکل (۹) تصویر الف پنجره باند فرکانسی میانی تبدیل فوریه و اعمال آن بر روی تصویر اصلی را نشان می‌دهد. تصاویر ب و پ به ترتیب پنجره باند فرکانسی میانی تبدیل کسینوسی

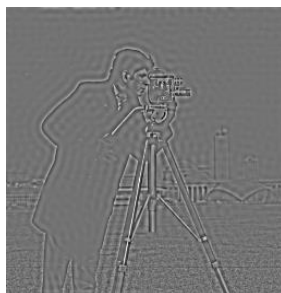


پنجره باند فرکانسی بالا تبدیل کسینوسی گسسته ناشی شده از الگوریتم جستجوی ممنوعه و اعمال آن بر روی تصویر I را نشان می‌دهند. در الگوریتم ژنتیک برای ساخت کروموزوم از بلوک‌های  $32 \times 32$  و در الگوریتم جستجوی ممنوعه از بلوک‌های  $16 \times 16$  استفاده شده است. الگوریتم ارائه شده برای تعیین پنجره باند میانی تبدیل کسینوسی گسسته بر روی تصاویر دیگری مانند Lena, Baboon و Boat بررسی شده و میزان اختلاف به ازای هر پیکسل تصویر در قالب جدول (۲) ارائه شده است.

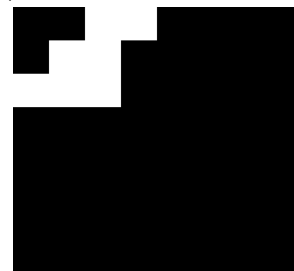
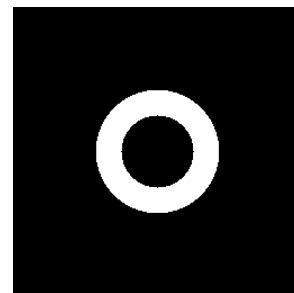
قسمت‌های الف در شکل‌های (۱۰)، (۱۲) و (۱۴) به خوبی نشان می‌دهند که همگرایی الگوریتم، توسط الگوریتم ژنتیک به تنهایی زمان‌بر خواهد بود. از این رو از الگوریتم ژنتیک برای دست‌یابی به تخمین اولیه از جواب استفاده می‌شود و ادامه بهینه‌سازی را الگوریتم جستجوی ممنوعه مطابق قسمت‌های ب در شکل‌های (۱۰)، (۱۲) و (۱۴) انجام می‌دهد.

تصویر I را نشان می‌دهند. در الگوریتم ژنتیک برای ساخت کروموزوم از بلوک‌های  $32 \times 32$  و در الگوریتم جستجوی ممنوعه از بلوک‌های  $8 \times 8$  استفاده شده است. در شکل (۱۱) تصویر الف پنجره باند فرکانسی پایین تبدیل فوریه و اعمال آن بر روی تصویر اصلی را نشان می‌دهد. تصاویر ب و پ به ترتیب پنجره باند فرکانسی پایین تبدیل کسینوسی گسسته به دست آمده از الگوریتم ژنتیک و اعمال آن بر روی تصویر I و پنجره باند فرکانسی پایین تبدیل کسینوسی گسسته ناشی شده از الگوریتم جستجوی ممنوعه و اعمال آن بر روی تصویر I را نشان می‌دهند. در الگوریتم ژنتیک برای ساخت کروموزوم از بلوک‌های  $32 \times 32$  و در الگوریتم جستجوی ممنوعه از بلوک‌های  $4 \times 4$  استفاده شده است.

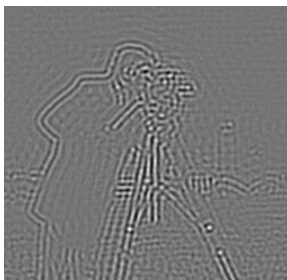
در شکل (۱۳) تصویر الف پنجره باند فرکانسی بالا تبدیل فوریه و اعمال آن بر روی تصویر اصلی را نشان می‌دهد. تصاویر ب و پ به ترتیب پنجره باند فرکانسی بالا تبدیل کسینوسی گسسته به دست آمده از الگوریتم ژنتیک و اعمال آن بر روی تصویر I و



الف) پنجره باند میانی تبدیل فوریه و اعمال آن بر تصویر اصلی

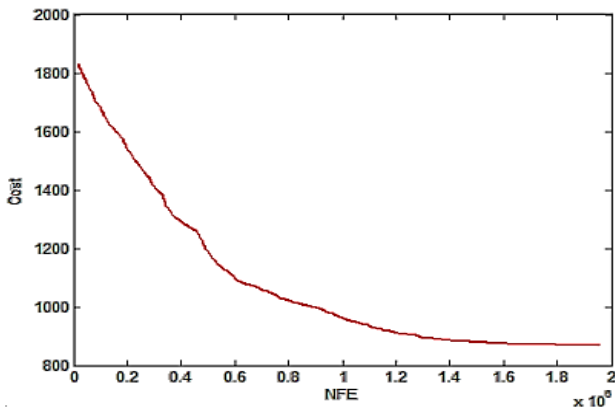


ب) پنجره باند میانی DCT ناشی شده از الگوریتم ژنتیک و اعمال آن بر تصویر I

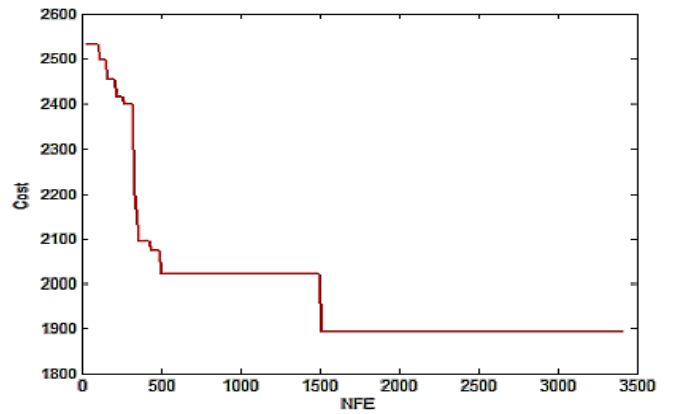


پ) پنجره باند میانی DCT ناشی شده از الگوریتم جستجوی ممنوعه و اعمال آن بر تصویر I

شکل (۹): باندهای میانی تبدیل فوریه و DCT ناشی شده از الگوریتم‌های ژنتیک و سپس جستجوی ممنوعه.

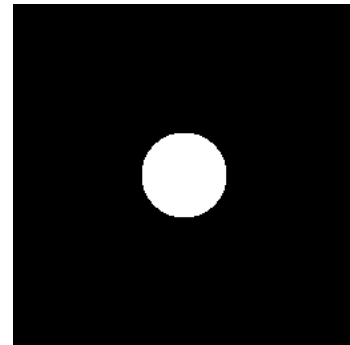


ب) نمودار بهترین هزینه الگوریتم جستجوی ممنوعه بر حسب تعداد اجرا

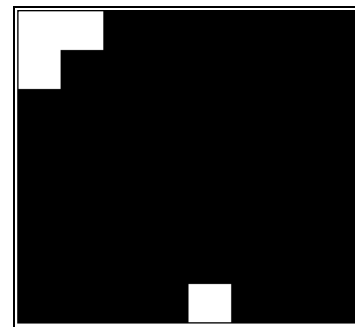


الف) نمودار بهترین هزینه برای الگوریتم ژنتیک بر حسب تعداد اجرا

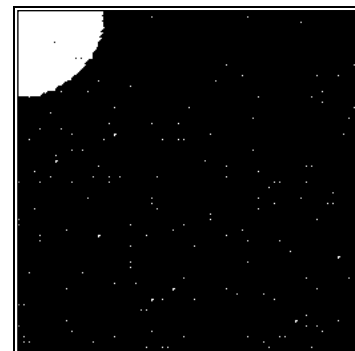
شکل (۱۰): روند تابع برازندگی در دو الگوریتم ژنتیک و جستجوی ممنوعه برای باند میانی.



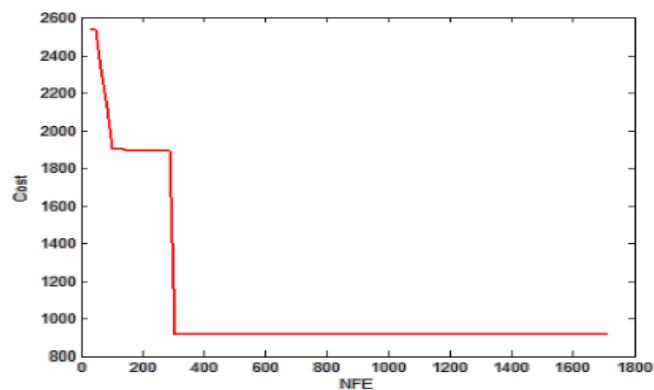
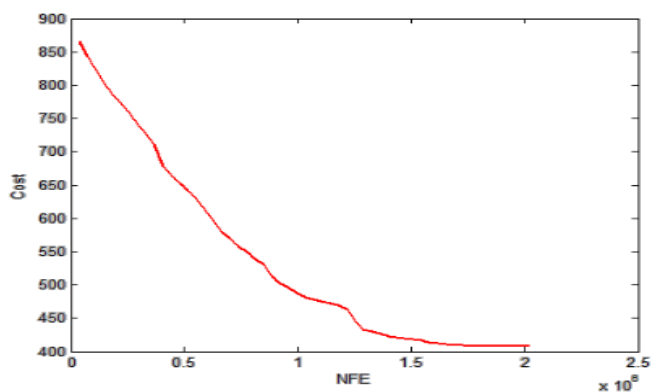
الف) پنجره باند پایین تبدیل فوریه و اعمال آن بر تصویر اصلی



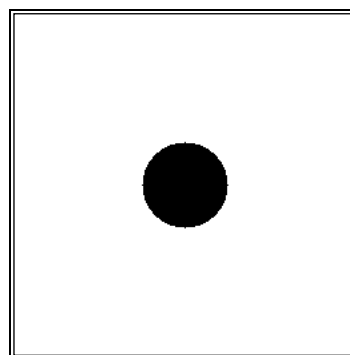
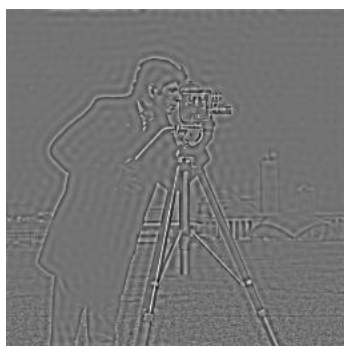
ب) پنجره باند پایین DCT ناشی شده از الگوریتم ژنتیک و اعمال آن بر تصویر I



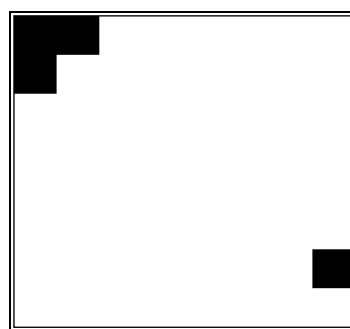
پ) پنجره باند پایین DCT ناشی شده از الگوریتم جستجوی ممنوعه و اعمال آن بر تصویر I  
شکل (۱۱): باندهای پایین تبدیل فوریه و DCT ناشی شده از الگوریتم‌های ژنتیک و سپس جستجوی ممنوعه.



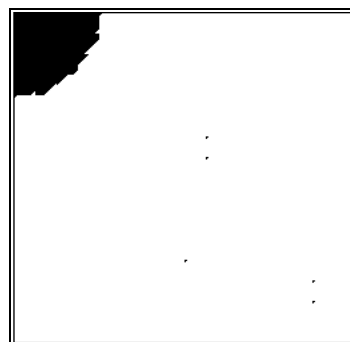
الف) نمودار بهترین هزینه برای الگوریتم ژنتیک بر حسب تعداد اجرا  
 ب) نمودار بهترین هزینه الگوریتم جستجوی ممنوعه بر حسب تعداد اجرا  
 شکل (۱۲): روند تابع برازندگی در دو الگوریتم ژنتیک و جستجوی ممنوعه برای باند پایین.



الف) پنجره باند بالا تبدیل فوریه و اعمال آن بر تصویر اصلی

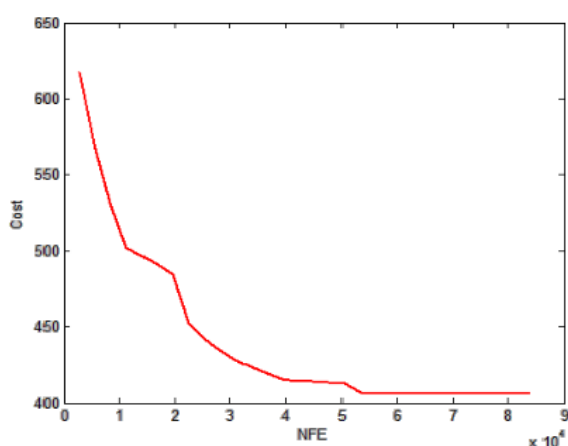


ب) پنجره باند بالا DCT ناشی شده از الگوریتم ژنتیک و اعمال آن بر تصویر I

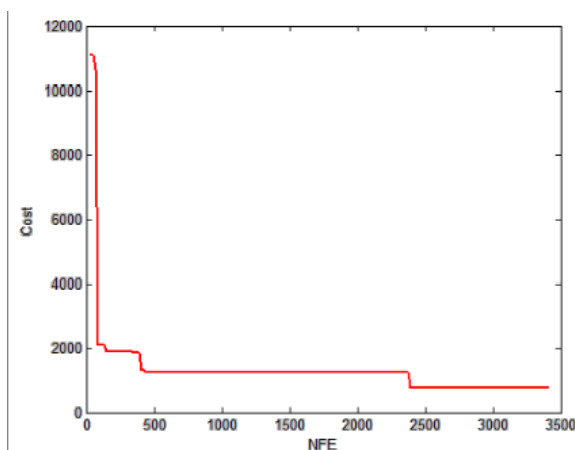


پ) پنجره باند بالا DCT ناشی شده از الگوریتم جستجوی ممنوعه و اعمال آن بر تصویر I

شکل (۱۳): باندهای بالا تبدیل فوریه و DCT ناشی شده از الگوریتم‌های ژنتیک و سپس جستجوی ممنوعه.



ب) نمودار بهترین هزینه الگوریتم جستجوی ممنوعه بر حسب تعداد اجرا



الف) نمودار بهترین هزینه برای الگوریتم ژنتیک بر حسب تعداد اجرا

شکل (۱۴): روند تابع برازندگی در دو الگوریتم ژنتیک و جستجوی ممنوعه برای باند بالا.

جدول (۲): متوسط میزان اختلاف به ازای هر پیکسل در تصاویر مختلف.

نام تصویر	متوسط میزان اختلاف به ازای هر پیکسل
Cameraman	۰,۰۱۳۲
Baboon	۰,۰۱۸۹
Boat	۰,۰۱۲۷
Lena	۰,۰۱۴۷

## ۶- مراجع

- [1] C. M. Pun, "A Novel DFT-Based Digital Watermarking System for Images," In 8th Int. Conf. on Signal Processing (ISP), vol. 2, pp. 1-6, November 2006.
- [2] M. D. Swanson, M. Kobayashi, and A. H. Tewfik, "Multimedia Data-Embedding and Watermarking Technologies," Proc. of the IEEE, vol. 86, no. 6, pp. 1064-1087, 1998.
- [3] C. I. Podilchuk and E. J. Delp, "Digital Watermarking: Algorithms and Applications," Signal Processing Magazine, IEEE, vol. 18, no. 4, pp. 33-46, 2001.
- [4] I. J. Cox and M. L. Miller, "The First 50 Years of Electronic Watermarking," EURASIP Journal on Applied Signal Processing (JASP), pp. 126-132, 2002.
- [5] S. J. Lee and S. H. Jung, "A Survey of Watermarking Techniques Applied to Multimedia," IEEE Int. Symp. in Industrial Electronics (ISIE), vol. 1, pp. 272-277, 2001.
- [6] T. E. Areef, H. S. Heniedy, and O. O. Mansour, "Optimal Transform Domain Watermark Embedding via Genetic Algorithms," In ITI 3rd Int. Conf. on Information and Communications Technology (ICT), pp. 607-617, 2005.

## ۵- نتیجه گیری

یکی از روش‌ها برای حفاظت از محصولات دیجیتال چندرسانه‌ای در برابر کپی‌های غیر مجاز و حفظ حق نشر آن، واترمارکینگ است. در واترمارکینگ یک سیگنال پنهانی به نام واترمارک، در داده حک می‌شود و همواره در آن باقی می‌ماند. باند میانی تبدیل کسینوسی گسسته، محل مناسبی برای جاسازی واترمارک در تصویر است؛ اما روش مناسبی برای تعیین این باند وجود ندارد. در این مقاله با استفاده از ترکیب الگوریتم‌های فرا ابتکاری ژنتیک و جستجوی ممنوعه روشی برای پیدا کردن این باند ارائه شد. نتایج حاصل به خوبی نشان دادند که همگرایی الگوریتم، توسط الگوریتم ژنتیک به‌تنهایی زمان‌بر خواهد بود. از این رو از الگوریتم ژنتیک برای دستیابی به تخمین اولیه از جواب استفاده شده است و بهینه‌سازی توسط الگوریتم جستجوی ممنوعه ادامه یافته است. در الگوریتم جستجوی ممنوعه هر چه اندازه بلوک‌هایی که با استفاده از آن‌ها تصویر تقسیم‌بندی می‌شود کوچک‌تر باشد، زمان اجرا زیاد می‌شود ولی از طرف دیگر باند به‌دست آمده دقیق‌تر خواهد بود.

- [20] I. Usman and A. Khan, "BCH coding and Intelligent Watermark Embedding: Employing both Frequency and Strength Selection," *Applied Soft Computing*, vol. 10, no. 1, pp. 332–343, 2010.
- [21] C. C. Lai, "A Digital Watermarking Scheme Based on Singular Value Decomposition and Tiny Genetic Algorithm," *Digital Signal Processing*, vol. 21, no. 4, pp. 522–527, 2011.
- [22] P. Artameeyanant, "Tabu Searching for Watermarking Robust Against Compression and Cropping," *Int. Joint Conf.*, pp. 4461-4463, October 2006.
- [23] H. C. Huang, J. S. Pan, F. H. Wang, and C. S. Shieh, "Robust Image Watermarking with Tabu Search Approaches," *IEEE Int. Symposium on Consumer Electronics*, Sydney, October 2003.
- [24] M. R. Fatahi, H. Ghaneiy, and A. M. L. Latif, "A New Approach to Selecting Watermark in Digital Images Based On Competitive Colonization Algorithm," *J. of Symptom and Data Processing (JSDP)*, pp. 1-14, 2013. (In Persian)
- [25] A. Mohammadi and H. Ghaneiy, "Improve Robustness and Transparency on Watermarking Digital Images Using Multipling of Domains Torque in the Discrete Cosine Transform," *1 Int. Conf. on New Research Achievements in Electrical & Computer Engineering (IECE)*, 2016. (In Persian)
- [26] F. Beiki and H. Ghaneiy, "Providing Away to Improve the Strenght and Capacity of Digital Image Watermarking Systems," *3 Int. Conf. on Pattern Recognition & Image Analysis(IPRIA)*, 2017. (In persian)
- [27] F. Hasan and B. Alireza, "Improved Watermarking Systebased on Discrete Fourier Transform and Fuzzy Logic," *J. of Soft Computing and Information Technology(JSCIT)*, pp. 1-13., 2015. (In persian)
- [28] X. Zhou, C. Cao, J. Ma, and L. Wang, "Adaptive Digital Watermarking Scheme Based on Support Vector Machines and Optimized Genetic Algorithm," *Mathematical Problems in Engineering*, 2018.
- [29] R. A. Alotaibi and L. A. Elrefaei, "Text-image Watermarking Based on Integer Wavelet Transform (IWT) and Discrete Cosine Transform (DCT)," *Applied Computing and Informatics*, vol. 15, no. 2, pp. 191-202, 2019.
- [30] S. M. R. Mousavi and A. R. Naghsh, "Robust Digital Image Watermarking Method Using Graph-Based Transform (GBT) and Genetic Algorithm (GA)," *J. of Intelligent Procedures in Electrical Technology (JIPET)*, vol. 10, no. 39, pp. 13-22, 2019. (In persian)
- [31] J. H. Holland, "An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence," *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, First Edition, The University of Michigan, USA ,1975.
- [32] F. W. Glover and G. A. Kochenberger, "Handbook of Metaheuristics," *Springer Science & Business Media*, vol. 57, 2003.
- [7] S. C. Chu, H. C. Huang, Y. Shi, S. Y. Wu, and C. S. Shieh, "Genetic Watermarking for Zerotree-Based Applications," *Circuits, Systems & Signal Processing (CSSP)*, vol. 27, no. 2, pp. 171–182, 2008.
- [8] H. J. Lee, J. H. Park, and Y. Zheng, "Digital Watermarking Robust against JPEG Compression," *Information Security*, pp. 167-177, November 1999.
- [9] L. Liu, "A Survey on Digital Watermarking Technologies," *Department of Electrical and Computer Engineering, State University of New York at Stony Brook*, pp. 11794–12350, 2005.
- [10] R. B. Wolfgang and E. J. Delp, "A watermark for digital images," *Int. Conf. on Image Processing (IIP)*, vol. 3, pp. 219–222, September 1996.
- [11] R. B. Wolfgang, C. I. Podilchuk, and E. J. Delp, "Perceptual Watermarks for Digital Images and Video," *Proc. of the IEEE*, vol. 87, no. 7, pp. 1108–1126, 1999.
- [12] G. C. Langelaar, I. Setyawan, and R. L. Lagendijk, "Watermarking Digital Image and Video Data. A State-of-the-Art Overview," *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 17, no. 5, pp. 20–46, 2000.
- [13] S. D. Lin, S. C. Shie, and J. Y. Guo, "Improving the Robustness of DCT-based Image Watermarking against JPEG Compression," *Computer Standards & Interfaces*, vol. 32, no. 1–2, pp. 54–60, 2010.
- [14] R. Pareek and P. K. Ghosh, "Discrete Cosine Transformation based Image Watermarking for Authentication and Copyright Protection," *Int. J. of Engineering and Advanced Technology(IJEAT)*, vol. 1, no. 3, pp. 152–156, 2012.
- [15] C. I. Podilchuk and W. Zeng, "Digital Image Watermarking using Visual Models," *Electronic Imaging, Int.Society for Optics and Photonics*, pp. 100–111, 1997.
- [16] J. Wu and J. Xie, "Adaptive Image Watermarking Scheme Based on HVS and Fuzzy Clustering Theory" *Int. Conf. on Neural Networks and Signal Processing(INNSP)*, vol. 2, pp. 1493–1496, December 2003.
- [17] S. E. El-Khamy and N. A. El-Yamany, "A New Perceptual Image Watermarking Technique based on Adaptive Fuzzy Clustering," *Radio Science Conf*, pp. 1–8, March 2004.
- [18] N. Zhong, J. M. Kuang, and Z. W. He, "A GA-based optimal image watermarking technique," *Third Int. Conf. on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing*, vol. 1, pp. 291–294, November 2007.
- [19] V. Aslantas, S. Ozer, and S. Ozturk, "A Novel Image Watermarking Method Based on Discrete Cosine Transform using Genetic Algorithm," *IEEE 17th Conf. on Signal Processing and Communications Applications (SPCA)*, pp. 285–288, April 2009.

**Enhancing E-Security by Inserting a Watermark Using the Combination of Genetic Algorithm and Tabu Search**

F. Zare Mehrjardi, M. Zare Mehrjardi, A. M. Latif\*, M. Ghasemzadeh

\*Computer Engineering Department, Yazd University, Yazd, Iran

(Received: 16/07/2019, Accepted: 01/02/2020)

**ABSTRACT**

*This paper presents a new method for determining the middle band of discrete cosine transform based on the combination of genetic algorithm and tabu search. As embedded watermark is visible in low frequencies, and not resistant against attacks in high frequencies, the most suitable band for embedding is the middle band. In the Fourier domain, it can be determined by some filters but such a method does not exist in the discrete cosine domain. In discrete cosine transform the arrangement of frequency components does not have the orderliness of the Fourier transform itself, so, it is tried to find the middle band of image by Fourier transform and then find the exact location of the middle band of discrete cosine transform by genetic algorithm and tabu search. In this method, we minimize the difference between the image that is obtained by applying the middle band of discrete cosine transform mask and the image obtained by the Fourier transform mask. Also, the proposed method can be used for low and high band of discrete cosine transform masks. The implementation and tests for low, middle and high bands resulted in 0.0062, 0.0149 and 0.0061 averages errors, respectively. These results for the test images are satisfactory.*

**Keywords:** Tabu Search, Genetic Algorithm, Middle Band, Fourier Transform, Discrete Cosine Transform

---

\* Corresponding Author Email: [alatif@yazd.ac.ir](mailto:alatif@yazd.ac.ir)