

## ته‌نقش‌گذاری بهینه تصاویر با استفاده از الگوریتم کرم شب‌تاب ترکیبی برای انتخاب بلوک‌ها و حدود آستانه

الهام معین‌الدینی\*

### چکیده

ته‌نقش‌گذاری روشی برای جاسازی ته‌نقش درون یک تصویر دیجیتال به منظور حفاظت از حق طبع و نشر آن است. ته‌نقش می‌بایستی دارای دو خاصیت متضاد شفافیت و مقاومت باشد. دو عامل عمده بهبود این دو پارامتر مکان جاسازی ته‌نقش و تعیین حدود آستانه بهینه برای جاسازی ته‌نقش در تصاویر می‌باشند. در این مقاله یک روش ته‌نقش‌گذاری جدید و مقاوم در دامنه تبدیل هادامارد ارائه شده است که جهت انتخاب بلوک‌ها و حدود آستانه مناسب از الگوریتم کرم شب‌تاب ترکیبی (HFA) استفاده می‌کند. HFA نسخه تغییر یافته الگوریتم کرم شب‌تاب برای تولید هم‌زمان مقادیر گسسته و غیر تکراری جهت انتخاب بلوک‌ها و مقادیر پیوسته برای انتخاب حدود آستانه است که در این مقاله برای اولین بار ارائه شده و بکار رفته است. در هر بلوک انتخاب شده از تصویر میزبان، پس از انجام تبدیل هادامارد چهار بیت ته‌نقش با استفاده از حدود آستانه بهینه جاسازی می‌شوند. بازیابی ته‌نقش بصورت نیمه‌کور انجام می‌شود و تابع هدف الگوریتم بهینه‌ساز، ترکیبی از میزان شفافیت و مقاومت ته‌نقش است. این روش هم برای تصاویر خاکستری و هم برای تصاویر رنگی قابل اجرا است. نتایج تجربی نشان دادند که روش ارائه شده نه تنها دارای مقاومت بالایی در برابر حملات گوناگون است بلکه از نظر شفافیت نیز نتایجی بهتر از سایر روش‌های مشابه موجود تولید می‌کند.

### کلیدواژه‌ها

ته‌نقش‌گذاری، الگوریتم کرم شب‌تاب، تبدیل هادامارد، حد آستانه.

### ۱. مقدمه

در ته‌نقش‌گذاری تصاویر یک ته‌نقش که می‌تواند تصویر یا داده دیجیتال باشد، درون یک تصویر دیجیتال جاسازی می‌شود. نامحسوس بودن (شفافیت) و مقاوم بودن (استحکام) دو متغیر اصلی برای ارزیابی الگوریتم‌های ته‌نقش‌گذاری می‌باشند. این دو متغیر با یکدیگر در تضاد هستند و افزایش هر کدام سبب کاهش دیگری می‌شود. هدف اساسی اکثر روش ته‌نقش‌گذاری ایجاد توازن بین شفافیت و مقاومت است.

روشهای نهان‌نگاری اولیه اکثراً اطلاعات را در دامنه فضای تصویر جاسازی می‌کردند این روشها علاوه بر ظرفیت کم جاسازی اطلاعات، مقاومت لازم را در برابر نویزهای کانالهای ارتباطی و یا حملات مغرضانه را ندارند و در برابر فشرده‌سازی بسیار آسیب پذیرند. استفاده از حوزه فرکانس علاوه بر افزایش ظرفیت، موجب افزایش شفافیت و مقاومت ته‌نقش در برابر انواع حملات و فشرده‌سازی ها می‌شود. به همین دلیل اکثر تکنیک‌های ته‌نقش‌نگاری در

دهه‌های اخیر توسعه اینترنت و شبکه‌های کامپیوتری باعث شده که داده‌های دیجیتال به راحتی در دسترس و قابل کپی کردن باشند. محتویات دیجیتال کپی شده دقیقاً همان کیفیت محتویات اصلی را دارند. این واقعیت گاهی سبب ایجاد شرایط بحرانی بدی نظیر سوء استفاده از داده‌ها می‌گردد. ته‌نقش‌گذاری رقمی روشی است که برای غلبه بر چنین مشکلاتی ارائه شده و ابزار مناسبی برای محافظت از حق مالکیت محتویات دیجیتال است.

این مقاله در دی‌ماه سال ۱۳۹۶ دریافت، در آبان‌ماه ۱۳۹۷ بازنگری و در دی‌ماه همان سال پذیرفته شد.

\* گروه مهندسی برق، بخش فنی و مهندسی، دانشگاه جیرفت.

رایانامه [el\\_moin@ujiroft.ac.ir](mailto:el_moin@ujiroft.ac.ir)

مبتنی بر جمعیت است که نسبت به سایر روشهای این حوزه دارای پارامترهای کنترل کمتری است لذا روشی ساده و مؤثر می‌باشد. برخی محققان از این الگوریتم برای بهینه سازی عوامل مقاومت چندگانه در ته‌نقش گذاری تصاویر بهره برده‌اند. می‌شرا و همکاران روشی برای ته‌نقش گذاری تصاویر در دامنه ترکیبی DWT-SVD ارائه کرده‌اند که در آن برای بهینه سازی عوامل مقاومت چندگانه از الگوریتم کرم شب‌تاب استفاده شده است [۱۸]. اما علی و همکاران نشان دادند که این روش دارای خطای مثبت کاذب است و الگوریتم دارای مشکل ابهام ته‌نقش است [۱۹].

دونگ و همکاران روشی جهت ته‌نقش گذاری تصاویر خاکستری در دامنه DCT-SVD ارائه نموده‌اند که در آن برای پیدا کردن عوامل مقاومت چندگانه از الگوریتم کرم شب‌تاب آشوب‌گون استفاده شده است [۲۰]. نتایج آن‌ها گویای افزایش مقاومت ته‌نقش است اما در این روش از همه بلوک‌های تصویر استفاده شده و عملاً انتخابی برای بلوک‌های مناسب‌تر صورت نگرفته است.

در روش ارائه شده توسط کاظمی‌وش و ابراهیمی‌مقدم جاسازی ته‌نقش با استفاده از مقادیر تولید شده توسط درخت رگرسیون<sup>۱۳</sup>، میانه ضرایب هر بلوک و عوامل مقاومت انجام می‌شود. بلوک‌های مناسب با استفاده از میزان انحراف معیار انتخاب شده و از الگوریتم کرم شب‌تاب برای بهینه سازی عوامل مقاومت استفاده شده است [۱۱]. این روش شفافیت چندان خوبی ندارد اما از مقاومت خوبی برخوردار است.

در روش ته‌نقش گذاری ارائه شده توسط معین‌الدینی و افسری، ته‌نقش در دامنه DWT-SVD تصویر میزبان جاسازی می‌شود و بهینه سازی حدود آستانه با استفاده از الگوریتم کرم شب‌تاب انجام می‌شود [۲۱]. در این روش ابتدا تبدیل موجک دوسطحی روی تصویر اعمال شده و زیر باند  $LL_2$  بدست می‌آید. این زیر باند بلوک‌بندی شده و پس از انجام SVD روی بلوک‌ها، بیت‌های ته‌نقش با استفاده از حدود آستانه در ماتریس U جاسازی می‌شوند. چون همه بلوک‌های موجود زیر باند  $LL_2$  برای جاسازی استفاده می‌شود، انتخابی برای بلوک مناسب صورت نمی‌گیرد. این روش از شفافیت و مقاومت خوبی برخوردار است اما به علت کم بودن فضای زیر باند  $LL_2$  ظرفیت جاسازی کم است.

روش‌های فوق از الگوریتم کرم شب‌تاب جهت بهینه سازی حدود آستانه یا عوامل مقاومت بهره برده‌اند، اما تا کنون برای انتخاب بلوک‌ها مناسب از هیچ الگوریتم مبتنی بر جمعیت و هوش جمعی استفاده نشده است. در این تحقیق از الگوریتم کرم شب‌تاب برای انتخاب همزمان بلوک‌ها و حدود آستانه بهینه استفاده شده است. چون الگوریتم کرم شب‌تاب برای حل مسائل با مقادیر پیوسته ایجاد شده است، تغییراتی در آن لازم است تا بتواند مقادیر گسسته و غیر تکراری برای بلوک‌ها و مقادیر پیوسته برای حدود آستانه

یکی از حوزه‌های فرکانس ارائه شده‌اند [۱]. این تکنیک‌ها اغلب از تبدیل‌های گوناگونی چون تبدیل فوریه گسسته<sup>۱</sup>، گسترش طیف<sup>۲</sup>، تبدیل کسینوسی گسسته<sup>۳</sup>، تبدیل موجک گسسته<sup>۴</sup>، تجزیه مقادیر منفرد<sup>۵</sup>، تبدیل هادامارد<sup>۶</sup> و انواع ترکیبی آنها بهره می‌برند [۲-۸]. روش‌های تحلیلی و شبیه سازی نشان داده‌اند که تبدیل هادامارد ارائه کننده شفافیت خوبی است در حالی که نسبت به اکثر پردازش‌ها و حملات مقاوم است [۹]. از این رو در این مقاله جاسازی ته‌نقش در دامنه هادامارد انجام شده است.

بافت مکان‌هایی از تصویر که برای جاسازی ته‌نقش انتخاب می‌شوند نقش مهمی در تعیین میزان شفافیت و مقاومت دارند. جاسازی در نواحی صاف و هموار تصویر موجب محسوس شدن ته‌نقشی‌گرد در حالی که میزان مقاومت را افزایش می‌دهد. این در حالیست که جاسازی در بخش‌هایی از تصویر که دارای لبه‌ها و نویز زیاد هستند موجب افزایش شفافیت و کاهش مقاومت می‌گردد [۱۰].

عامل اثر گذار دیگر عوامل مقاومت<sup>۷</sup> یا حدود آستانه<sup>۸</sup> هستند که برابر با حداکثر مقدار تغییرات مجازی است که برای جاسازی ته‌نقش روی تصویر اعمال می‌شود. روش‌های مختلفی برای انتخاب بلوک‌های مناسب در تصاویر بکار رفته‌اند که پرکاربردترین آن‌ها از مفاهیمی چون واریانس، آنتروپی و انحراف معیار استفاده کرده‌اند [۱۰-۱۳]. استفاده از این روش‌ها بسته به این که کدام دسته از بلوک‌ها انتخاب شوند، می‌تواند موجب افزایش یکی از پارامترهای شفافیت یا مقاومت ته‌نقش شود.

چون هدف یافتن بلوک‌ها و حدود آستانه مناسب بگونه‌ای است که هم موازنه لازم بین شفافیت و مقاومت ایجاد گردد و هم این بلوک‌ها بطور پویا برای هر تصویر تعیین گردند، این مساله رامی‌توان به عنوان یک مساله بهینه سازی طرح کرد و از روش‌های فرا ابتکاری برای حل آن بهره برد. اخیراً محققان از برخی روشهای مبتنی بر جمعیت و هوش جمعی (الگوریتم ازدحام ذرات<sup>۹</sup>، بهینه سازی کلونی مورچه‌ها<sup>۱۰</sup>، کلونی زنبور عسل<sup>۱۱</sup> و ...) برای یافتن حدود آستانه و عوامل مقاومت در تکنیک‌های ته‌نقش گذاری استفاده کرده‌اند و نتایج را به‌طور چشم گیری بهبود بخشیده‌اند [۱۳-۱۷]. الگوریتم کرم شب‌تاب<sup>۱۱</sup> یکی از روشهای بهینه سازی

<sup>۱</sup>DFT: Discrete Fourier transform

<sup>۲</sup>Spread Spectrum

<sup>۳</sup>DCT: Discrete Cosine transform

<sup>۴</sup>DWT: Discrete wavelet transform

<sup>۵</sup>SVD: Singular Value Decomposition

<sup>۶</sup>QR decomposition

<sup>۷</sup>Strength Factors

<sup>۸</sup>Threshold values

<sup>۹</sup>PSO: Particle Swarm Optimization

<sup>۱۰</sup>ACO: Ant Colony Optimization

<sup>۱۱</sup>ABC: Artificial bee colony

<sup>۱۲</sup>Firefly Algorithm

<sup>۱۳</sup>Regression Tree

توسط درخت رگرسیون<sup>۲</sup>، میانه ضرایب هر بلوک و عوامل مقاومت انجام می‌شود و از الگوریتم کرم شب تاب برای بهینه سازی عوامل مقاومت استفاده شده است [۱۱]. این روش شفافیت چندان خوب ندارد اما از مقاومت خوبی برخوردار است. در روش ارائه شده توسط معین‌الدینی و افسری، ته‌نقش در دامنه DWT-SVD جاسازی شده و بهینه سازی حدود آستانه با استفاده از الگوریتم کرم شب تاب انجام می‌شود [۲۱]. در این روش ابتدا زیر باند  $LL_2$  تبدیل موجک بلوک‌بندی شده سپس SVD روی هر بلوک اعمال می‌شود و بیت‌های ته‌نقش در ماتریس U جاسازی می‌شود. از آنجا که از همه بلوک‌های موجود برای جاسازی استفاده می‌شود در نتیجه انتخابی برای بلوک مناسب صورت نمی‌گیرد. این روش از شفافیت و مقاومت خوبی برخوردار است اما به علت کم بودن تعداد بلوک‌های  $LL_2$  ظرفیت جاسازی آن کم است.

در بحث انتخاب بلوک‌های مناسب، محققان زیادی از مفهوم آنتروپی و اطلاعات لبه‌ها استفاده کرده‌اند. در این روش‌ها معمولاً آنتروپی برای هر بلوک با استفاده از روابط تعریف شده توسط شانون محاسبه شده سپس بلوک‌ها بر اساس این اطلاعات انتخاب می‌شوند [۲۲]. روش ارائه شده توسط مایتی و همکاران بلوک‌های تصویر را بر اساس میزان آنتروپی آن‌ها به سه دسته با سطح اطلاعات کم، متوسط و زیاد تقسیم می‌نماید [۱۰]. ته‌نقش یک بار در بلوک‌های با سطح اطلاعات کم و بار دیگر در بلوک‌های با سطح اطلاعات متوسط جاسازی می‌شود. تصاویر ته‌نقش‌گذاری شده با این روش از شفافیت خوبی ندارند. علاوه بر این که مقاومت این روش در برابر حملات و پردازش‌های گوناگون کم است. روش دیگری که در آن آنتروپی استفاده می‌شود توسط لای ارائه شده است [۲۳]. در این روش بلوک‌های با آنتروپی کمتر برای جاسازی انتخاب می‌شود. تبدیل DCT و SVD به ترتیب روی بلوک‌های انتخاب شده صورت می‌گیرد و بیت‌های ته‌نقش با استفاده از یک حد آستانه ثابت جاسازی می‌شوند. بازیابی ته‌نقش‌صورت کور انجام می‌شود. این روش با وجود شفافیت خوبی که ارائه می‌کند دارای مقاومت مناسبی در برابر پردازش‌های مختلف نیست. فرانکلین و همکاران روشی غیر کور جهت ته‌نقش‌گذاری تصاویر رنگی و خاکستری با استفاده از آنتروپی ارائه کرده‌اند [۲۴]. در این روش پس از تبدیل تصاویر رنگی به خاکستری و تقسیم تصویر به بلوک‌های  $8 \times 8$  آنتروپی و حد آستانه برای هر بلوک محاسبه شده و بلوک‌های با آنتروپی بیشتر از حد آستانه انتخاب می‌شوند. نحوه محاسبه حدود آستانه در این مقاله شرح داده نشده است. میزان مقاومت این روش در برابر برخی حملات از جمله چرخاندن کم است اما شفافیت آن قابل قبول می‌باشد. علی و همکاران روشی کور برای ته‌نقش‌گذاری تصاویر ارائه کرده‌اند که در آن انتخاب بلوک‌های مناسب با استفاده از آنتروپی انجام می‌شود [۱۳]. در این روش ابتدا تبدیل DWT با

تولید نماید. به این منظور الگوریتم کرم شب تاب ترکیبی<sup>۱</sup> (HFA) که نسخه‌ای جدید از الگوریتم کرم شب تاب است، در این مقاله معرفی شده و به کار رفته است. استفاده از تبدیل هادامارد به عنوان دامنه فرکانس و الگوریتم کرم شب‌تاب ترکیبی برای انتخاب بلوک‌ها باعث بهبود میزان شفافیت و مقاومت این روش در مقایسه با سایر روش‌های ته‌نقش‌گذاری مشابه موجود شده است. این روش هم برای تصاویر خاکستری و هم برای تصاویر رنگی قابل اجرا است. بر اساس مطالعات انجام شده روش ارائه شده از حیث معرفی الگوریتم کرم شب‌تاب ترکیبی و استفاده از آن برای انتخاب بهینه بلوک‌ها و حدود آستانه، جدید بوده و تا کنون مشابه آن انجام نشده است.

ادامه مقاله به شرح زیر است: ابتدا در بخش دوم، کارهای انجام شده مرتبط مورد بررسی قرار گرفته و در بخش سوم مفاهیم و الگوریتم‌های استفاده شده به طور مختصر بیان شده‌اند. روش پیشنهادی در بخش چهارم شرح داده شده و بخش پنجم به آزمایشات و نتایج تجربی بدست آمده اختصاص داده شده است. بخش ششم به مقایسه نتایج روش پیشنهادی با چند روش مشابه می‌پردازد و در نهایت، نتیجه‌گیری و کار آینده در بخش هفتم آورده شده است.

## ۲. کارهای مرتبط

مهم‌ترین قسمت روش ارائه شده، انتخاب فراابتکاری بلوک‌های تصویر میزبان و حدود آستانه برای جاسازی ته‌نقش است. این بخش ابتدا چند روش ته‌نقش‌گذاری که از الگوریتم کرم شب‌تاب برای بهینه سازی حدود آستانه استفاده کرده‌اند را ذکر کرده و سپس به شرح برخی از روش‌های ته‌نقش‌گذاری مبتنی بر بلوک و نحوه انتخاب بلوک‌ها مناسب در آن‌ها می‌پردازد.

برخی محققان از الگوریتم کرم شب‌تاب برای بهینه سازی عوامل مقاومت چندگانه و حدود آستانه در ته‌نقش‌گذاری تصاویر بهره برده‌اند. میشرا و همکاران روشی برای ته‌نقش‌گذاری تصاویر در دامنه ترکیبی DWT-SVD ارائه کرده‌اند که در آن از الگوریتم کرم‌شب‌تاب برای بهینه سازی عوامل مقاومت چندگانه استفاده شده است [۱۸]. اما علی و همکاران نشان دادند که این روش دارای خطای مثبت کاذب بوده و الگوریتم دارای مشکل ابهام ته‌نقش است [۱۹]. دونگ و همکاران روشی جهت ته‌نقش‌گذاری تصاویر خاکستری در دامنه DCT-SVD ارائه نموده‌اند که در آن برای پیدا کردن عوامل مقاومت چندگانه از الگوریتم کرم شب تاب آشوب‌گون استفاده شده است [۲۰]. نتایج آن‌ها گویای افزایش مقاومت ته‌نقش است. در این روش برای آشکارسازی ته‌نقش، وجود تصویر اصلی الزامی است. در روش ارائه شده توسط کاظمی‌وش و ابراهیمی‌مقدم جاسازی ته‌نقش با استفاده از مقادیر تولید شده

<sup>۲</sup>Regression Tree

<sup>۱</sup>Hybrid Firefly Algorithm

این روش خوب است اما مقاومت آن در برابر حملات گوناگون بررسی نشده است. در روش ارائه شده توسط صدراعظمی و امینی نیز از واریانس برای انتخاب بلوک‌های مناسب استفاده شده است [۲۷]. در این روش ابتدا بلوک‌های با واریانس بالا انتخاب شده و سپس ته‌نقش گذاری در دامنه تبدیل کنتورلت صورت می‌گیرد. این روش دارای مقاومت و شفافیت خوبی است، ضمن این که میزان شفافیت و مقاومت توسط پارامتری به نام فاکتور وزن قابل تنظیم است.

در روش ارائه شده توسط آنگ و همکاران برای افزایش شفافیت از بلوک‌هایی با نوسان کم<sup>۳</sup> برای جاسازی ته‌نقش استفاده شده است [۲۸]. با وجود مقاومت بالای این روش، شفافیت آن چندان خوب نیست.

جستجوی اولین-بهترین<sup>۴</sup> برای انتخاب دنباله‌ای از بلوک‌های مناسب برای ته‌نقش‌گذاری در روش ارائه شده توسط سرکر و همکاران بکار رفته است [۲۹]. در این روش پس از بلوک‌بندی و انجام تبدیل هادامارد روی بلوک‌ها تصویر میزبان، با استفاده از جستجوی اولین-بهترین بلندترین دنباله از بلوک‌ها با بیشترین مقدار ضرایب (بجز ضریب DC) بدست می‌آید. بلوک‌هایی با بیشترین مقادیر از این دنباله برای جاسازی ته‌نقش انتخاب می‌شوند. از آن جا که ته‌نقش در همه ضرایب بجز DC جاسازی می‌شود این روش در برابر نویزهای گوناگون آسیب پذیر است. در هیچ یک از روش‌های ته‌نقش‌گذاری که تا کنون ارائه شده‌اند انتخاب بلوک‌های تصویر بصورت هوشمند و بهینه انجام نشده است. در این مقاله از الگوریتم HFA برای انتخاب بهینه بلوک‌ها و حدود آستانه استفاده شده است. بر اساس دانسته‌های ما این روش تاکنون در هیچ یک از روش‌های ته‌نقش‌گذاری به کار نرفته است و از این حیث کاملاً جدید می‌باشد.

### ۳. مرور مفاهیم و الگوریتم‌های استفاده شده

در این بخش مفاهیم و الگوریتم‌های استفاده شده مختصراً شرح داده شده‌اند.

#### ۳-۱. تبدیل هادامارد دوبعدی

تبدیل هادامارد یک تبدیل غیر سینوسی متعامد است که پهنای باند سیگنال را کاهش داده و در نتیجه فضای لازم جهت ذخیره سازی را کمتر می‌کند. این تبدیل بسیار سریع است زیرا برای انجام آن فقط نیاز به انجام جمع‌ها و تفریق‌های صحیح است در نتیجه این تبدیل کاندید مناسبی برای سیستم‌های ته‌نقش‌گذاری بلادرنگ است. تبدیل دوبعدی هادامارد بر اساس ماتریس هادامارد انجام می‌شود. ماتریس هادامارد یک ماتریس  $2^n \times 2^n$  از  $+1$  و  $-1$  ها است که سطرها و ستون‌هایش با یکدیگر متعامدند. عناصر ماتریس تبدیل ساده‌اند: آن‌ها اعداد دودویی و حقیقی هستند بنابراین تبدیل

توزیع ثابت<sup>۱</sup> روی تصویر میزبان انجام شده و زیر باند فرکانس پایین آن به بلوک‌های بدون همپوشانی تقسیم می‌شود. سپس بلوک‌های با آنتروپی کمتر برای جاسازی انتخاب می‌شود. تبدیل SVD روی بلوک‌های انتخاب شده صورت گرفته و بیت‌های ته‌نقش با استفاده از عوامل مقاومت مختلف در ضرایب ستون اول آن جاسازی می‌شوند. در این روش از الگوریتم کلونی زنبور عسل برای بهینه سازی عوامل مقاومت استفاده شده است. این روش دارای مقاومت و شفافیت قابل قبولی است. در روش که توسط معین‌الدینی ارائه شده است برای برقراری تعادل بین شفافیت و مقاومت بلوک‌های با آنتروپی متوسط برای جاسازی ته‌نقش استفاده شده‌اند [۲۵]. برای جاسازی ته‌نقش ابتدا تبدیل هادامارد روی هر بلوک انتخاب شده انجام می‌شود و سپس هر بیت ته‌نقش در اختلاف دوتا از ضرایب هادامارد بلوک با استفاده از یک حد آستانه جاسازی می‌شود. در این روش حد آستانه برای همه بلوک‌ها یکسان در نظر گرفته شده است. این روش دارای شفافیت قابل قبولی است اما مقاومت و ظرفیت آن چندان بالا نیست.

در برخی روش‌های ته‌نقش‌گذاری از پارامترهای آماری چون واریانس و انحراف معیار برای انتخاب بلوک مناسب استفاده شده است. کاظمی‌وش و ابراهیمی مقدمبرای انتخاب بلوک‌های مناسب از انحراف معیار استفاده کرده‌اند [۲۶]. در این روش پس از انجام تبدیل موجک آسانسور<sup>۲</sup> روی تصویر میزبان، بخش فرکانس پایین آن به بلوک‌های  $3 \times 3$  تقسیم می‌شود. انحراف معیار هر یک از این بلوک‌ها محاسبه شده و بلوک‌هایی با انحراف معیار بیشتر انتخاب می‌شوند. برای برقراری توازن بین شفافیت و مقاومت برخی از بلوک‌ها آن‌ها نادیده گرفته می‌شوند. بلوک‌های نادیده گرفته شده توسط الگوریتم کرم شبتاب انتخاب می‌شوند. در این روش مقاومت ته‌نقش در برابر حملات و پردازش‌های گوناگون خوب است اما شفافیت آن چندان خوب نیست. همچنین از الگوریتم کرم شبتاب برای یافتن بلوک‌هایی که بایستی حذف شوند استفاده شده و این الگوریتم مستقیماً برای انتخاب بلوک‌ها استفاده نشده است. در روش دیگری که توسط همین نویسندگان ارائه شده باز هم از انحراف معیار برای انتخاب بلوک‌ها استفاده شده است [۱۱]. در این روش مانند روش قبل پس از انجام تبدیل موجک آسانسور روی تصویر میزبان، بخش فرکانس پایین آن به بلوک‌های  $3 \times 3$  تقسیم می‌شود اما عکس روش قبل از بلوک‌های با انحراف معیار کمتر برای جاسازی استفاده شده است. این روش شفافیت چندان خوب ندارد اما از مقاومت بالایی برخوردار است. در روش ارائه شده توسط ریحان و همکاران از واریانس جهت انتخاب بلوک‌ها استفاده شده است [۱۲]. به این صورت که تبدیل والش هادامارد روی بلوک‌های  $8 \times 8$  که دارای واریانس بیشتری هستند انجام شده و در هر بلوک دو بیت ته‌نقش جاسازی می‌شوند. با اینکه شفافیت

<sup>۳</sup>Low Amplitude

<sup>۴</sup>Best First Search

<sup>۱</sup>Redistributed Invariant Wavelet Transform

<sup>۲</sup>Lifting wavelet transform

بیانگر فرکانس بالا می‌باشد. جاسازی ته‌نقش در فرکانس‌های متوسط و بالای تبدیل هادامارد نسبت به سایر تبدیل‌ها مانند DWT و DCT، موجب ایجاد تغییرات کمتری در تصویر می‌گردد. از طرفی خاصیت تعامد بین سطرها و ستون‌های ماتریس هادامارد موجب کاهش همبستگی میان ضرایب آن می‌شود. این خصوصیت باعث می‌شود که تغییر در برخی ضرایب تأثیر چندانی در سایر ضرایب نداشته و در نتیجه ته‌نقش نامحسوس‌تر شود. روشهای ته‌نقش گذاری مبتنی بر تبدیل هادامارد از مزایای تبدیل هادامارد شامل هزینه محاسبات کم، ته‌نقش گذاری مقاوم تر و طیف مفید گسترده تر در فرکانس متوسط، بهره می‌برند. علاوه بر این تبدیل هادامارد نسبت به اکثر پردازش‌ها و حملات معمول کانال‌های ارتباطی از جمله اضافه کردن نویز، فیلترها، تغییر سایز و فشرده سازی مقاوم است [۹، ۳۰، ۳۱].

### ۲-۳. الگوریتم کرم شب تاب

الگوریتم کرم شب تاب (FA) یک روش فوق ابتکاری، با الهام از رفتارهای حشره کرم شب تاب است و در بسیاری از مسائل پاسخ‌های بهینه خوبی ارائه می‌کند. کرم‌های شب تاب قادر به تولید نورهای چشمک زن و ریتمیک هستند که به منظور جفت‌گیری، هشدار برای خطر و شکار از آن استفاده می‌کنند. در FA سه قانون زیر به عنوان مبنای کار در نظر گرفته می‌شوند: ۱- کرم‌های شب تاب تک جنسیتی فرض می‌شوند و هر کرم‌های شب تاب جذب کرم دیگر می‌شود. ۲- میزان جاذبه هر کرم شب تاب بسته به میزان روشنایی آن است، به این صورت که کرم‌های با نور کمتر جذب کرم‌های با نور بیشتر می‌شوند. ۳- میزان درخشندگی هر کرم شب تاب یا به‌طور تصادفی تعیین می‌شود و یا توسط تابع هدف [۳۲].

شبه کد الگوریتم کرم شب تاب در شکل ۱ نشان داده شده است.

```
/* Firefly Algorithm */
1. Define objective function f(x) where x = (x1, x2, ..., xD)
2. Generate initial population of fireflies xi (i = 1, 2, ..., N)
3. Define alpha, beta0, and gamma
4. MaxIt = maximum generation number
5. Begin
6. while (t < MaxIt)
7.   For each firefly i = 1 to N
8.     For each firefly j = 1 to N
9.       if f(xi) < f(xj)
10.        rij = sqrt(sum_{k=1}^D (xi,k - xj,k)^2)
11.        beta(r) = beta0 * e^{-gamma * rij^2}
12.        xi_i^new = xi_i^old + beta(r) * (xi_i^old - xj) + alpha * (rand - 1/2)
13.      End if
14.    Attractiveness varies with distance r via beta0 * e^{-gamma * r^2}
15.    Evaluate new solutions and update objective function
16.  End for i
17. End for j
18. Rank the fireflies and find the current best
19. End while
20. Post process results and visualization
21. End
```

شکل ۱: شبه کد الگوریتم کرم شب تاب (FA)

هادامارد و معکوس آن با قوانین ساده قابل انجام است. به دلیل خاصیت تعامد سطرها و ستون‌های ماتریس هادامارد  $H_n$  دارای ویژگی‌های خاصی است. یکی از ویژگی‌های قابل توجه آن در رابطه زیر نشان داده شده است.

$$H_n = H_n^* = H_n^T = H_n^{-1} \quad (1)$$

جاییکه  $H_n$  ماتریس هادامارد،  $H_n^T$  ترانپوز ماتریس هادامارد،  $H_n^{-1}$  معکوس ماتریس هادامارد و  $H_n^*$  مزدوج ماتریس هادامارد است. ماتریس هادامارد  $H_1$ ، ماتریس هسته نامیده می‌شود که بصورت زیر تعریف می‌شود.

$$H_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

ماتریس هادامارد درجه n با استفاده از ماتریس هادامارد درجه n-1 و ضرب کرانکر  $\otimes$  به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$H_n = H_{n-1} \otimes H_1 \quad (3)$$

یا

$$H_n = \begin{bmatrix} H_{n-1} & H_{n-1} \\ H_{n-1} & -H_{n-1} \end{bmatrix} \quad (4)$$

و بالاخره تبدیل هادامارد دو بعدی برای یک تصویر با رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$V = \frac{H_n U H_n}{N} \quad (5)$$

در این رابطه U نشان دهنده تصویر اصلی و V تصویر انتقال یافته است. چون  $H_n$  دارای N سطر متعامد است پس داریم

$$H_n \times H_n = N \times I \quad (6)$$

so  $H_n^{-1} = H_n / N$

بنابراین عکس تبدیل هادامارد از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$U = H_n^{-1} V H_n^* = \frac{H_n V H_n}{N} \quad (7)$$

در روش ارائه شده تبدیل هادامارد بر روی بلوک‌های  $8 \times 8$  و با استفاده از ماتریس هادامارد درجه سه  $H_3$  انجام می‌شود. این ماتریس در زیر نشان داده شده است.

$$H_3 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

تغییر علامت در سطرها و ستونهای ماتریس هادامارد یکی از ویژگی‌های آن است. تعداد تغییر علامت با عنوان توالی شناخته می‌شود. مفهوم توالی شبیه به مفهوم فرکانس در تبدیل فوری است. عدم وجود تغییر علامت به عنوان DC و تغییرات زیاد در علامت

## ۳-۳. تحلیل مؤلفه اصلی (PCA):

تحلیل مؤلفه‌های اصلی یکی از انواع روش‌های تحلیل داده‌های چند متغیره است که هدف اصلی آن تقلیل ابعاد مساله مورد مطالعه می‌باشد. کانال‌های R، G و B در تصاویر RGB همبستگی شدیدی دارند که این امر ته‌نقش‌گذاری در این کانال‌ها را با مشکل کاهش شفافیت روبرو می‌سازد. عدم همبستگی اجزاء PCA باعث افزایش شفافیت ته‌نقش در تصاویر رنگی می‌گردد. با توجه به این خاصیت می‌توان یک تصویر RGB را به سه جزء غیر همبسته تبدیل نمود. از آن جا که جزء اصلی شامل اغلب اطلاعات تصویر اصلی است و اکثر خصوصیات آن را نشان می‌دهد، با جاسازی اطلاعات در این مؤلفه مقاومت ته‌نقش افزایش می‌یابد [۳۳]. برای یک تصویر RGB با ابعاد  $M \times N$ ، محاسبه PCA طبق مراحل زیر انجام می‌شود:

- ۱- تصویر RGB به سه جزء تک رنگ R، G و B تجزیه می‌شود.
- ۲- میانگین اجزاء R، G و B بطور جداگانه محاسبه می‌شود.
- ۳- اگر مقدار پیکسل  $(k, l)$  در باند  $i$  با  $x_i(k, l)$  و مقدار پیکسل  $(k, l)$  در باند  $z$  با  $x_z(k, l)$  نشان داده شود و  $x_i$  مقدار میانگین باند  $i$  باشد و  $x_z$  مقدار میانگین باند  $z$  باشد، آنگاه کوواریانس R، G و B با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$C_{ij} = \frac{1}{N_1 N_2} \sum_{k=0}^{N_1-1} \sum_{l=0}^{N_2-1} (x_i(k, l) - x_i) \times (x_j(k, l) - x_j) \quad (9)$$

- $i$  و  $z$  برابر ۱، ۲ و ۳ متناظر با باندهای R، G و B هستند بنابراین ماتریس کوواریانس C یک ماتریس قطری  $3 \times 3$  است.
- ۴- اگر بردارهای ویژه ماتریس کوواریانس C با  $\mu_1, \mu_2, \mu_3$  نمایش داده شوند و T نمایشگر ترانزاده ماتریس باشد، آنگاه ماتریس تبدیل K-L با رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$A = \begin{pmatrix} T \\ \mu_1 \\ T \\ \mu_2 \\ T \\ \mu_3 \end{pmatrix} \quad (10)$$

- ۵- سه جزء  $P_1, P_2, P_3$  برای هر پیکسل  $(k, l)$  با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\begin{pmatrix} P_1(k, l) \\ P_2(k, l) \\ P_3(k, l) \end{pmatrix} = A \begin{pmatrix} R(k, l) \\ G(k, l) \\ B(k, l) \end{pmatrix} \quad (11)$$

در این رابطه  $P_1$  مؤلفه اصلی تصویر RGB اولیه است. از طرفی اگر مؤلفه‌های  $P_1, P_2, P_3$  و ماتریس A را داشته باشیم باندهای R، G و B به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$\begin{pmatrix} R(i, j) \\ G(i, j) \\ B(i, j) \end{pmatrix} = A^{-1} \begin{pmatrix} P_1(i, j) \\ P_2(i, j) \\ P_3(i, j) \end{pmatrix} \quad (12)$$

و تصویر RGB با باندهای R، G و B باز سازی می‌شود [۳۴].

## ۴. روش پیشنهادی

در این بخش ابتدا الگوریتم پیشنهادی کرم شب‌تاب ترکیبی و تابع هدف تشریح شده و پس از آن مراحل تعبیه و استخراج ته‌نقش بیان شده‌اند.

## ۴-۱. الگوریتم کرم شب‌تاب ترکیبی ارائه شده

الگوریتم کرم شب‌تاب برای حل مسائل با مقادیر پیوسته ایجاد شده است ضمن این‌که مقادیر آن می‌تواند تکراری باشند. برای انتخاب حدود آستانه که مقادیری پیوسته هستند و می‌توانند تکراری نیز باشند به راحتی می‌توان از این الگوریتم استفاده کرد اما برای انتخاب بلوک‌ها که مقادیر گسسته و غیر تکراری هستند باید تغییراتی روی الگوریتم انجام شود تا بتواند همزمان مقادیر حدود آستانه و شماره بلوک‌ها را انتخاب کند.

در الگوریتم پیشنهادی کرم شب‌تاب ترکیبی هر کرم شب‌تاب در گروه یک دنباله ممکن از بلوک‌ها و حدود آستانه را برای جاسازی ته‌نقش معرفی می‌کند. هر کرم شب‌تاب دارای دو بخش است: نیمه اول مکان بلوک‌ها و نیمه دوم مقادیر حدود آستانه را مشخص می‌کند پس تعداد ابعاد هر کرم  $2 \times D$  و برابر با تعداد D بلوک مورد نیاز و D حد آستانه است. مقادیر قابل قبول برای بخش اول (D تای اول) اعداد صحیح غیر تکراری بین  $\min B$  تا  $\max B$  می‌باشد ( $\min B$  برابر ۱ و  $\max B$  برابر با تعداد کل بلوک‌های تصویر است) و مقادیر قابل قبول برای بخش دوم حدود آستانه بین  $\min Th$  تا  $\max Th$  می‌باشد ( $\min Th$  برابر 0.01 و  $\max Th$  برابر 0.03 است). نحوه انتخاب این مقادیر در ابتدای فصل ۵ تشریح شده است). برای مقدار دهی اولیه بخش اول کرم‌ها به جای مقدار دهی تصادفی از جایگشت‌های مختلف شماره بلوک‌ها بین  $\min B$  تا  $\max B$  و انتخاب D تای اول آن‌ها استفاده شده تا مقادیر غیر تکراری برای هر کرم تولید شود.  $\beta B$  میزان حرکت بخش اول هر کرم به سمت کرم نورانی‌تر است در این الگوریتم از رابطه زیر برای محاسبه  $\beta B$  در هر دور استفاده شده است:

$$\beta B = \left(1 + \frac{it}{\max it}\right) \times it \quad (13)$$

در این رابطه  $it$  شماره دور جاری و  $\max it$  تعداد کل تکرارهای مساله است. مقدار  $\beta B$  با افزایش تکرارهای برنامه افزایش می‌یابد و باعث می‌شود که در دورهای اول میزان جذب کمتر باشد تا جستجو در همه فضاهای مساله انجام شود، اما در دورهای آخر میزان جذب افزایش یافته تا راه‌حل‌ها با سرعت بیشتری به سمت مقدار بهینه میل کنند.

$\alpha$  میزان حرکت تصادفی هر کرم را معین می‌کند و از رابطه زیر بدست می‌آید:

از  $maxB$  بیشتر شود آن ابعاد به ابتدای بازه انتقال می‌یابند و از مقدار  $maxB$  تجاوز نخواهند کرد. چون در ابتدا ابعاد بخش اول هر کرم بصورت صحیح و منحصر به فرد مقداردهی اولیه شده‌اند و در زمان حرکت یک مقدار ثابت به همه آن‌ها اضافه می‌شود، می‌توان مطمئن بود که ابعاد بخش اول کرم جدید نیز صحیح و منحصر به فرد هستند.

بخش دوم کرم‌ها بصورت تصادفی مقدار دهی اولیه می‌شود. میزان حرکت بخش دوم هر کرم به سمت کرم نورانی‌تر  $\beta Th$  است و با رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$\beta Th = \beta_0 e^{-\gamma r_{ij}^2} \quad (18)$$

فاصله بین بخش دوم دو کرم شب تاب  $i$  و  $j$  با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$r_{ij} Th = \sqrt{\sum_{k=1}^D (x_{i,k} - x_{j,k})^2} \quad (19)$$

اما حرکت بخش دوم کرم شب تاب  $i$  به سمت کرم با روشنایی بیشتر  $j$  طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$x_i^{new} = x_i^{old} + \beta Th(r)(x_i^{old} - x_j) + \alpha_0 \left( rand - \frac{1}{2} \right) \quad (20)$$

شبه کد الگوریتم کرم شب تاب ترکیبی در شکل ۲ نشان داده شده است.

```

1. /* Proposed Hybrid Firefly Algorithm */
2. Define objective function f(x) where x=(x1,x2,...,xD)
3. Generate initial population of fireflies xi (i=1,2,...,N)
4. MaxIt= maximum generation number
5. minB = 1, maxB = Total number of blocks
6. minTh = 0.01, maxTh = 0.03, alpha_0 = 10
7. D = number of selected blocks
8. Dmax = (maxB - minB) * sqrt(D)
9. alpha_0 = 10
10. Begin
11. while (t < MaxIt)
12.   For each firefly i=1 to N
13.     For each firefly j=1 to N
14.       if f(xi) < f(xj)
15.         rijB = (sum_{k=1}^D |xi,k - xj,k|) / Dmax
16.         betaB = (1 + (it / maxIt)) * it
17.         alpha = randi(alpha_0)
18.         For each dimension k=1 to D
19.           xi^{new} = { xi^{old} + [betaB * rijB] + alpha if xi^{old} <= maxB - [betaB * rijB] + alpha
                       xi^{old} + [betaB * rijB] + alpha - maxB else
20.         End for k
21.         rijTh = sqrt(sum_{k=1}^D (xi,k - xj,k)^2)
22.         betaTh = beta_0 * e^{-gamma * rijTh^2}
23.         For each dimension k=D+1 to 2*D
24.           xi^{new} = xi^{old} + betaTh(r) * (xi^{old} - xj) + alpha_0 * (rand - 1/2)
25.         End for k
26.       End if
27.     Evaluate new solutions and update objective function
28.   End for i
29. End for j
30. Rank the fireflies and find the current best
31. End while
32. Post process results and visualization
End
    
```

شکل ۲: شبه کد الگوریتم کرم شب تاب ترکیبی (HFA)

$$\alpha = randi(\alpha_0) \quad (14)$$

تابع  $randi$  اعداد صحیح تصادفی کمتر از  $\alpha_0$  تولید می‌نماید و مقدار  $\alpha_0$  در این رابطه برابر ۱۰ در نظر گرفته شده است. فاصله بین بخش اول دو کرم شب تاب  $i$  و  $j$  با استفاده از رابطه زیر اندازه‌گیری می‌شود:

$$r_{ij} B = \frac{\sum_{k=1}^D |x_{i,k} - x_{j,k}|}{Dmax} \quad (15)$$

در این رابطه  $D$  برابر نصف تعداد ابعاد کرم‌هاست  $Dmax$  از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Dmax = (maxB - minB) \times \sqrt{D} \quad (16)$$

همانگونه که پیش‌تر گفته شد  $minB$  برابر با ۱ و  $maxB$  برابر با تعداد کل بلوک‌های تصویر است.

نهایتاً حرکت بخش اول کرم شب تاب  $i$  به سمت کرم با روشنایی بیشتر  $j$ ، از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\begin{aligned} \text{if } x_i^{old} \leq maxB - [\beta B \times r_{ij} B] + \alpha \\ x_i^{new} = x_i^{old} + [\beta B \times r_{ij} B] + \alpha \end{aligned} \quad (17)$$

$$\text{else} \\ x_i^{new} = x_i^{old} + [\beta B \times r_{ij} B] + \alpha - maxB$$

در این رابطه  $[\beta B \times r_{ij} B]$  جزء صحیح کران پایین را محاسبه می‌کند. طبق این رابطه به همه ابعاد بخش اول کرم  $i$  مقدار  $[\beta B \times r_{ij} B] + \alpha$  که یک عدد صحیح است اضافه می‌شود. اگر اضافه شدن این مقدار باعث شود که مقدار برخی از ابعاد بخش اول کرم

## ۲-۴. تابع هدف و معیارهای ارزیابی

تابع هدفی که برای HFA ارائه کرده‌ایم یک تابع کمینه ساز<sup>۱</sup> است و به گونه‌ای طراحی شده که کرم‌های شب‌تاب با مقدار تابع هدف کمتر، جذاب‌تر باشند. ترکیبی از شفافیت و مقاومت به عنوان تابع هدف در نظر گرفته شده است. چون تابع هدف یک تابع کمینه‌ساز است، هر چه مقادیر PSNR، SSIM و NC بیشتر باشند مطلوب‌تر است، پس حاصل جمع معکوس این مقادیر تابع هدف را تشکیل می‌دهند. مقادیر SSIM و NC همیشه بین ۰ و ۱ هستند اما PSNR برای اینکه به این رنج نزدیک شود با مقدار  $\gamma$  تعدیل می‌شود. تابع هدف با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$f = \frac{\gamma}{PSNR} + \frac{1}{SSIM} + \frac{1}{\frac{1}{NA} \sum_{i=1}^{NA} NC_i(w, w')} \quad (21)$$

در این رابطه NA تعداد حملات اعمال شده بر روی تصویر ته‌نقش‌گذاری شده و برابر ۲۵ و  $\gamma$  برابر ۱۰ است. همچنین  $w$  تصویر ته‌نقش اصلی و  $w'$  ته‌نقش استخراج شده پس از اعمال حملات است.

همبستگی نرمال<sup>۲</sup> (NC) مقیاس‌برای اندازه‌گیری میزان مشابهت میان ته‌نقش اصلی  $w$  و ته‌نقش استخراج شده  $w'$  است که کیفیت ته‌نقش استخراج شده را ارزیابی می‌کند. NC تحت حملات گوناگون محاسبه شده و میانگین همه آن‌ها در تابع هدف مورد استفاده قرار می‌گیرد [۳۵].

کیفیت تصویر ته‌نقش‌گذاری شده توسط اوج نسبت سیگنال به نویز (PSNR) و شاخص شباهت ساختاری<sup>۳</sup> (SSIM) ارزیابی می‌شود برای اندازه‌گیری این دو شاخص از تصویر ته‌نقش‌گذاری شده بدون اعمال حملات استفاده می‌شود [۳۶].

## ۳-۴. تعبیه ته‌نقش

به منظور تعبیه تصویر دودویی با ابعاد  $n \times n$ ، در تصویر میزبان با ابعاد  $M \times N$  طبق مراحل زیر عمل می‌کنیم.

گام ۱. تصویر میزبان  $I$  به بلوک‌هایی مساوی و بدون هم پوشانی به اندازه  $8 \times 8$  تقسیم می‌شود. بدون از دست دادن کلیت فرض می‌کنیم که  $M$  و  $N$  بر ۸ بخش‌پذیر باشند.

گام ۲. با استفاده از الگوریتم HFA مناسب‌ترین بلوک‌ها برای جاسازی ته‌نقش و حدود آستانه بهینه برای هر بلوک انتخاب می‌شوند. شماره بلوک‌ها و حدود آستانه انتخاب شده در یک فایل ذخیره شده و به عنوان کلید رمز در زمان استخراج مورد استفاده قرار می‌گیرد. این کلید رمز از طریق کانال‌های امن برای افراد مجاز به استخراج ته‌نقش ارسال می‌شود.

در هر بلوک چهار تا از بیت‌های ته‌نقش در چهار تا از ضرایب هادامارد جاسازی می‌شود. ضرایب مورد استفاده در هر بلوک در

شکل ۳ مشخص شده‌اند. تغییر علامت در سطرها و ستونهای ماتریس هادامارد یکی از ویژگیهای آن است و تعداد تغییر علامت با عنوان توالی شناخته می‌شود. مفهوم توالی شبیه به مفهوم فرکانس در تبدیل فوریه است. اگر ته‌نقش در فرکانس‌های بالاتر جاسازی شود، مقاومتش افزایش می‌یابد [۳۱]. با توجه به رابطه (۸) میزان تغییر علامت در ستون‌های ۲ و ۶ بیشتر از سایر ستون‌ها است لذا دو ضریب از هر یک از این دو ستون و ستون مجاورشان برای جاسازی انتخاب شده‌اند. گام‌های ۳ تا ۵ برای هر بلوک تا زمان جاسازی همه بیت‌های تکرار می‌شوند:

گام ۳. تبدیل هادامارد روی بلوک انتخاب شده جاری انجام شده و ضرایب هادامارد بدست می‌آیند.

گام ۴. برای جاسازی یک بیت ته‌نقش از ارتباط ضرایب مجاور  $c_{i,j+1}$  و  $c_{i,j}$  استفاده می‌شود. الگوریتم جاسازی به صورت زیر است:

```

if w(k) == 1
    if  $c_{i,j} - c_{i,j+1} < Th(l)$ 
         $c'_{i,j} = c_{i,j} + \frac{Th(l) - (c_{i,j} - c_{i,j+1})}{2}$ 
         $c'_{i,j+1} = c_{i,j+1} - \frac{Th(l) - (c_{i,j} - c_{i,j+1})}{2}$ 
    end
end
if w(k) == 0
    if  $c_{i,j+1} - c_{i,j} < Th(l)$ 
         $c'_{i,j} = c_{i,j} - \frac{Th(l) - (c_{i,j+1} - c_{i,j})}{2}$ 
         $c'_{i,j+1} = c_{i,j+1} + \frac{Th(l) - (c_{i,j+1} - c_{i,j})}{2}$ 
    end
end

```

در این الگوریتم  $c'_{i,j}$  و  $c'_{i,j+1}$  همان ضرایب  $c_{i,j}$  و  $c_{i,j+1}$  پس از ته‌نقش گذاری هستند و  $1 \leq k \leq n^2$  است. همچنین  $1 \leq l \leq \frac{n^2}{4}$  زیرا در هر بلوک چهار بیت جاسازی می‌شود و  $Th(l)$  مقدار حد آستانه بهینه برای هر بلوک است که در گام ۲ محاسبه شده است. جهت جاسازی چهار بیت در یک بلوک گام ۴ چهار بار تکرار می‌شود. با جاسازی بیت‌ها در فرکانس‌های بالا و متوسط ماتریس هادامارد، مقاومت ته‌نقش افزایش می‌یابد. تغییر علامت در سطرها و ستون‌های ماتریس هادامارد با عنوان توالی شناخته می‌شود که شبیه به مفهوم فرکانس در تبدیل فوریه است. با توجه به رابطه (۸) میزان تغییر علامت در ستون‌های ۲ و ۶ بیشتر از سایر ستون‌هاست لذا دو ضریب از هر یک از این دو ستون و ستون مجاورشان برای جاسازی انتخاب شده‌اند. شکل ۳ ضرایب هادامارد استفاده شده برای جاسازی چهار بیت در هر بلوک را نشان می‌دهد.

گام ۵. عکس تبدیل هادامارد روی بلوک جاری انجام می‌شود. گام ۶. بلوک‌ها  $8 \times 8$  به یکدیگر متصل شده و تصویر ته‌نقش گذاری شده  $I_w$  ایجاد می‌گردد.

<sup>۱</sup>Minimization Problem

<sup>۲</sup>Normal Correlation

<sup>۳</sup>Structural-Similarity Index



### ۴-۴. استخراج ته‌نقش

در این روش استخراج ته‌نقش به صورت نیمه کور صورت می‌پذیرد و در زمان بازیابی نیازی به تصویر اصلی نیست و فقط تصویر ته‌نقش‌گذاری شده  $I'_w$  (که ممکن است تحت تأثیر پردازش‌ها و یا حملات خاصی قرار گرفته باشد) و کلید رمز بکار رفته در مرحله جاسازی که شماره بلوک‌های جاسازی شده و مقدار حدود آستانه برای هر بلوک را مشخص می‌کند، لازم است. مراحل آشکار سازی ته‌نقش به شرح زیر می‌باشند:

گام ۱. تصویر ته‌نقش‌گذاری شده  $I'_w$  به بلوک‌هایی مساوی و بدون هم پوشانی به اندازه  $8 \times 8$  تقسیم می‌شود.  
گام ۲. با استفاده از کلید رمز که در مرحله جاسازی ایجاد و از طریق یک کانال امن منتقل شده است، شماره بلوک‌های جاسازی شده و مقدار حدود آستانه بدست می‌آید.

برای هر بلوک تا زمان بازیابی همه بیت‌های ته‌نقش گام ۳ و ۴ تکرار می‌شوند:

گام ۳. تبدیل هادامارد روی بلوک جاری انجام شده و ضرایب هادامارد بدست می‌آیند.

گام ۴. برای آشکار سازی ته‌نقش از میزان اختلاف ضرایب هادامارد استفاده می‌شود. الگوریتم آشکار سازی به صورت زیر است:

$$\begin{aligned} &\text{if } c''_{ij} > c''_{i,j+1} \\ &\quad w'(k) = 1 \\ &\quad \text{else} \\ &\quad w'(k) = 0 \\ &\quad \text{end} \end{aligned}$$

ضرایب  $c''_{ij}$  و  $c''_{i,j+1}$  همان ضرایب  $c'_{ij}$  و  $c'_{i,j+1}$  تصویر ته‌نقش‌گذاری شده هستند که پس از انتقال تصویر به گیرنده ممکن است تحت تأثیر پردازش‌ها و یا حملات خاص قرار گرفته باشند. این گام چهار بار برای هر بلوک تکرار می‌شود.

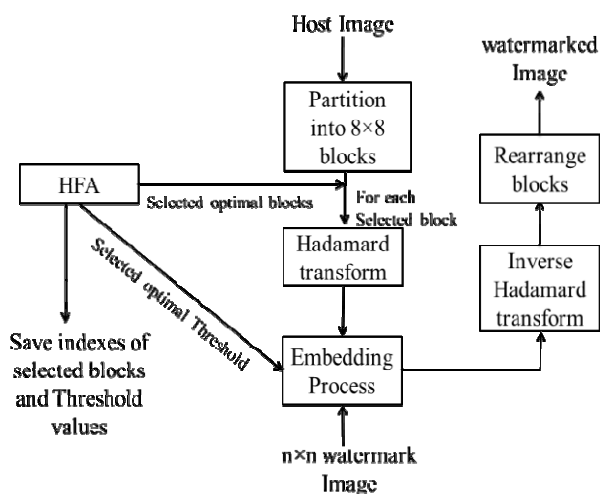
گام ۵.  $w'(k)$  ها در کنار هم قرار گرفته و تصویر ته‌نقش بازیابی شده  $w'$  را ایجاد می‌کنند.

شکل‌های ۴ و ۵ روال تعبیه و استخراج ته‌نقش را نشان می‌دهند.

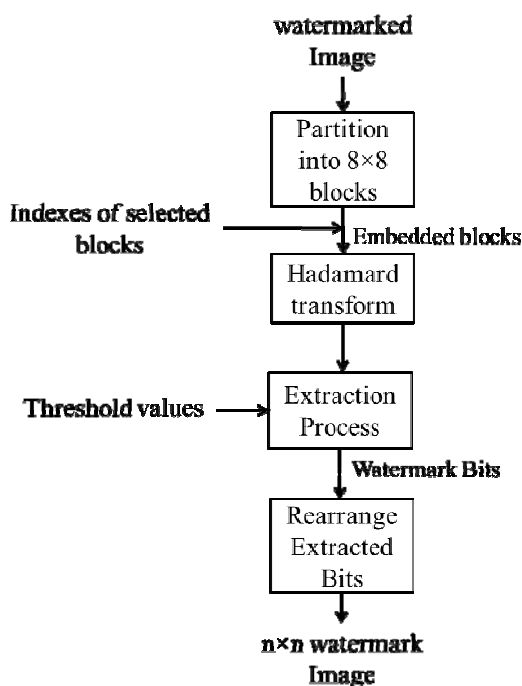
در مورد تصاویر رنگی ابتدا با استفاده از PCA مؤلفه  $p_1$  محاسبه شده و مراحل جاسازی و بازیابی، روی آن انجام می‌شود و در انتها دوباره تصویر RGB بازسازی می‌شود.

		C(3,2)	C(3,3)			C(3,6)	C(3,7)
		C(7,2)	C(7,3)			C(7,6)	C(7,7)

شکل ۳ ضرایب هادامارد استفاده شده برای جاسازی چهار بیت در هر بلوک

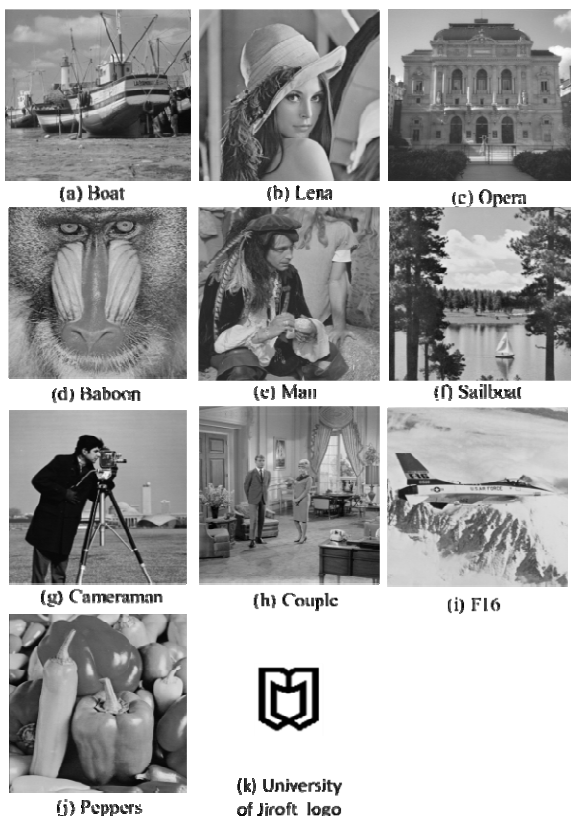


شکل ۴ روال تعبیه ته‌نقش

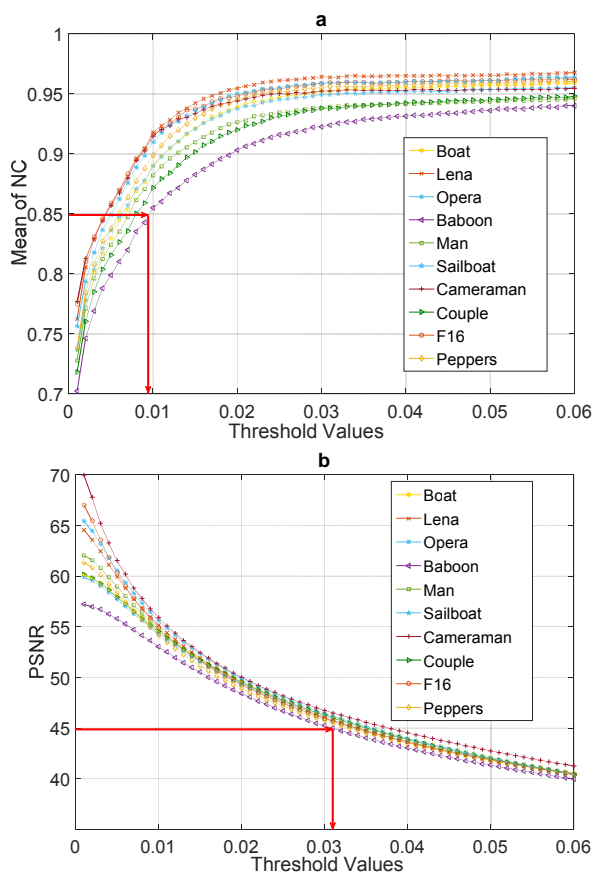


شکل ۵ روال استخراج ته‌نقش

## ۵. نتایج تجربی



شکل ۶: تصاویر میزبان و k تصویر ته‌نقش



شکل ۷: (a) تغییرات میانگین NC و (b) تغییرات PSNR با تغییر حد آستانه، برای یافتن بازه مقدار دهی اولیه حدود آستانه

این بخش به سنجش عملکرد روش ته‌نقش‌گذاری پیشنهادی می‌پردازد و به این منظور، ده تصویر خاکستری استاندارد با اندازه  $512 \times 512$  به عنوان تصاویر میزبان و یک تصویر  $64 \times 64$  دودویی، به عنوان ته‌نقش استفاده شده‌اند. همه تصاویر میزبان از پایگاه داده USC-SIPI گرفته شده‌اند و تصویر ته‌نقش آرم دانشگاه جیرفت، جیرفت-ایران می‌باشد [۳۷]. شکل ۶ تصاویر میزبان و ته‌نقش را نشان می‌دهد.

برای ارزیابی میزان مقاومت ته‌نقش از حملات متعددی استفاده شده است. این حملات عبارتند از فیلترینگ، متعادل کردن هیستوگرام، اضافه کردن پارازیت‌ها، حملات هندسی و فشرده سازی که شرح کامل این حملات در جدول ۱ آمده است. کد نویسی‌ها در نرم افزار MATLAB 2015R و بر روی سیستمی با پردازنده Core 2 Duo و ۴ گیگا بایت رم و ویندوز 7 انجام شده‌اند. الگوریتم HFA ۳۰ مرتبه برای هر تصویر اجرا شده و بهترین نتایج این اجراها برای مقایسه انتخاب شده‌اند. در همه اجراهای الگوریتم HFA،  $\alpha_0 = 10$ ، تعداد کرم‌ها شب‌تاب اولیه برابر ۱۰، تعداد حملات برابر ۲۵ و تعداد دورهای اجرا نیز برابر ۱۰۰ در نظر گرفته شده‌اند. تعداد ابعاد هر کرم  $\frac{n^2}{2}$  برای ته‌نقشی با ابعاد  $n \times n$  می‌باشد. محدوده مقداردهی بخش اول کرم‌ها، یک تا تعداد کل بلوک‌ها و محدوده مقداردهی بخش دوم کرم‌ها بازه  $[0.01, 0.03]$  است. (چگونگی مقداردهی هر کرم در بخش ۴-۱ شرح داده شده است). برای انتخاب این بازه که محدوده مقدار دهی اولیه حدود آستانه را مشخص می‌کند، ته‌نقش‌گذاری بر روی ده تصویر شکل ۶ و با ۶۰ مقدار حد آستانه مختلف انجام شده است. مقادیر این حدود آستانه در بازه  $0.001$  تا  $0.06$  و با گام ثابت  $0.001$  انتخاب شده‌اند. پس از ته‌نقش‌گذاری با هر یک از حدود آستانه، مقدار PSNR برای هر مورد بدست آمده سپس حملات روی تصاویر ته‌نقش‌گذاری شده اعمال شده‌اند. پس از استخراج ته‌نقش از هر تصویر پردازش شده، مقدار میانگین NC برای همه حملات محاسبه شده است.

تغییرات PSNR و میانگین NC به ازای مقادیر مختلف حدود آستانه در شکل ۷ نمایش داده شده‌است. همانگونه که در این شکل مشاهده می‌شود، با بیشتر شدن حد آستانه مقدار میانگین NC افزایش می‌یابد برای اینکه میانگین NC‌ها بیش از  $0.85$  باشد باید حد آستانه بیشتر از  $0.01$  انتخاب شود. از طرفی با افزایش حد آستانه مقدار PSNR کاهش می‌یابد اگر مقدار PSNR بیشتر از  $45$  مطلوب باشد باید حد آستانه کمتر از  $0.03$  انتخاب شود بنابراین بازه  $[0.01, 0.03]$  برای مقداردهی حدود آستانه انتخاب شده است.

جدول ۳. مقادیر NC پس از اعمال حملات مختلف برای

تصاویر **Man**، **Baboon**، **Opera**، **Lena**، **Boat**.

Man	Baboon	Opera	Lena	Boat	شماره حمله
۰/۹۰۲۶	۰/۹۲۵۱	۰/۹۱۰۴	۰/۹۰۱۶	۰/۹۱۵۸	۱
۰/۸۹۲۵	۰/۸۹۷۷	۰/۸۸۱۴	۰/۸۹۴۳	۰/۸۹۲۱	۲
۰/۸۳۹۰	۰/۸۳۲۸	۰/۸۳۳۷	۰/۸۲۸۰	۰/۸۳۹۰	۳
۰/۹۵۰۰	۰/۹۵۹۷	۰/۹۵۰۵	۰/۹۶۱۷	۰/۹۵۲۵	۴
۰/۹۰۳۲	۰/۹۱۲۳	۰/۹۲۳۲	۰/۸۹۲۹	۰/۹۱۰۹	۵
۰/۸۶۱۲	۰/۸۵۹۹	۰/۸۶۳۵	۰/۸۵۰۶	۰/۸۵۲۰	۶
۰/۹۹۹۰	۱	۰/۹۹۸۰	۱	۰/۹۹۹۱	۷
۱	۱	۱	۱	۱	۸
۱	۱	۱	۱	۱	۹
۰/۸۶۷۲	۰/۸۶۲۱	۰/۸۷۳۲	۰/۸۵۶۴	۰/۸۶۵۰	۱۰
۰/۹۰۰۸	۰/۸۸۹۷	۰/۸۹۰۰	۰/۸۹۰۹	۰/۸۹۵۸	۱۱
۰/۹۹۹۰	۰/۹۹۷۱	۰/۹۹۹۰	۰/۹۸۹۴	۰/۹۹۹۵	۱۲
۰/۹۹۲۱	۰/۹۹۶۸	۰/۹۹۲۶	۰/۹۸۰۵	۰/۹۹۸۳	۱۳
۱	۰/۹۹۹۰	۰/۹۹۹۲	۱	۰/۹۹۹۰	۱۴
۱	۱	۱	۱	۱	۱۵
۰/۸۹۹۰	۰/۸۵۷۴	۰/۹۳۰۰	۰/۹۰۵۷	۰/۸۹۰۲	۱۶
۰/۸۷۲۹	۰/۸۵۰۵	۰/۸۴۱۵	۰/۹۱۳۱	۰/۸۵۱۰	۱۷
۱	۱	۱	۱	۱	۱۸
۰/۹۸۸۸	۰/۹۸۵۰	۰/۹۴۴۱	۰/۹۸۱۱	۰/۹۷۵۶	۱۹
۰/۸۸۰۰	۰/۸۹۹۴	۰/۹۷۹۶	۰/۹۴۲۱	۰/۸۷۲۱	۲۰
۰/۹۲۰۳	۰/۸۸۵۹	۰/۸۶۹۵	۰/۸۵۰۸	۰/۸۲۰۰	۲۱
۰/۸۶۵۱	۰/۸۳۳۱	۰/۹۰۳۲	۰/۸۲۵۵	۰/۸۷۹۹	۲۲
۰/۹۴۶۰	۰/۹۵۲۲	۰/۹۳۱۰	۰/۹۵۸۷	۰/۹۵۲۰	۲۳
۰/۹۹۰۸	۱	۰/۹۹۰۱	۱	۰/۹۹۱۲	۲۴
۱	۱	۱	۱	۱	۲۵
۰/۹۳۸۸	۰/۹۳۵۸	۰/۹۴۰۱	۰/۹۳۶۹	۰/۹۳۴۰	میانگین

جدول ۴. مقادیر NC پس از اعمال حملات مختلف برای

تصاویر **Peppers**، **F16**، **Couple**، **Cameraman**، **Sailboat**.

Peppers	F16	Couple	Camera man	Sailboat	شماره حمله
۰/۹۲۳۵	۰/۹۲۰۳	۰/۹۰۵۶	۰/۹۱۲۵	۰/۹۲۸۱	۱
۰/۸۸۰۳	۰/۸۸۷۰	۰/۸۸۱۹	۰/۸۸۹۵	۰/۸۷۸۹	۲
۰/۸۲۰۹	۰/۸۳۶۲	۰/۸۳۰۷	۰/۸۴۵۰	۰/۸۳۵۸	۳
۰/۹۵۸۷	۰/۹۶۰۲	۰/۹۵۴۸	۰/۹۵۵۱	۰/۹۶۲۱	۴
۰/۹۰۵۰	۰/۹۱۰۲	۰/۹۰۷۹	۰/۹۱۰۲	۰/۹۱۲۳	۵
۰/۸۷۷۸	۰/۸۸۸۲	۰/۸۵۰۸	۰/۸۶۹۰	۰/۸۷۷۰	۶
۱	۰/۹۹۹۰	۰/۹۹۶۸	۱	۰/۹۹۸۴	۷
۱	۱	۱	۱	۱	۸
۱	۱	۱	۱	۱	۹
۰/۸۸۴۵	۰/۸۶۱۰	۰/۸۶۲۱	۰/۸۵۲۰	۰/۸۸۶۵	۱۰
۰/۹۰۵۱	۰/۸۸۲۳	۰/۸۸۴۶	۰/۸۹۴۸	۰/۸۹۱۰	۱۱
۰/۹۹۹۰	۰/۹۹۳۴	۱	۱	۱	۱۲
۰/۹۹۹۰	۰/۹۹۰۴	۰/۹۹۷۵	۱	۰/۹۹۹۰	۱۳
۰/۹۹۹۵	۰/۹۹۰۹	۰/۹۹۷۰	۱	۰/۹۹۹۰	۱۴
۱	۱	۱	۱	۱	۱۵
۰/۹۳۶۳	۰/۹۵۲۷	۰/۸۶۹۱	۰/۹۴۲۱	۰/۹۲۰۵	۱۶
۰/۹۰۹۱	۰/۸۶۱۹	۰/۸۵۰۸	۰/۹۴۱۰	۰/۸۸۱۹	۱۷
۱	۱	۱	۱	۱	۱۸
۰/۹۹۲۶	۰/۹۸۹۹	۰/۹۷۷۵	۰/۹۹۰۱	۰/۹۹۲۲	۱۹
۰/۸۸۵۱	۰/۹۰۲۶	۰/۸۸۴۴	۰/۸۳۰۱	۰/۸۸۲۶	۲۰
۰/۸۸۱۵	۰/۹۱۵۵	۰/۸۵۰۰	۰/۸۸۴۱	۰/۸۹۵۶	۲۱
۰/۹۱۲۵	۰/۸۸۸۱	۰/۸۹۰۶	۰/۹۵۱۰	۰/۸۶۰۰	۲۲
۰/۹۵۱۰	۰/۹۴۴۵	۰/۹۵۲۵	۰/۹۵۰۵	۰/۹۵۷۹	۲۳
۰/۹۹۹۸	۱	۰/۹۹۳۹	۰/۹۹۲۲	۱	۲۴
۱	۱	۱	۱	۱	۲۵
۰/۹۴۴۵	۰/۹۴۳۰	۰/۹۳۳۵	۰/۹۴۴۴	۰/۹۴۲۴	میانگین

برای ارزیابی شفافیت تصاویر ته‌نقش‌گذاری شده، میزان PSNR، SSIM و NC برای تصاویر مورد آزمایش محاسبه شده است. جدول ۲ نتایج بدست آمده را نشان می‌دهد. مقادیر بالای PSNR و SSIM، کیفیت خوب تصاویر ته‌نقش‌گذاری شده را نشان می‌دهند علاوه بر این همه مقادیر NC بدون اعمال حملات، برابر ۱ می‌باشند که صحت روش ارائه شده در استخراج ته‌نقش را تأیید می‌کنند.

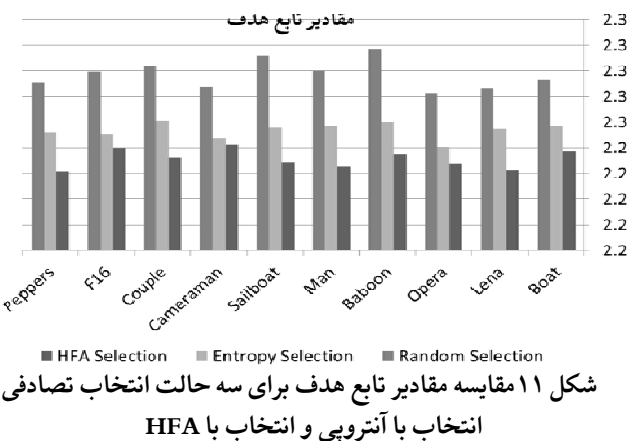
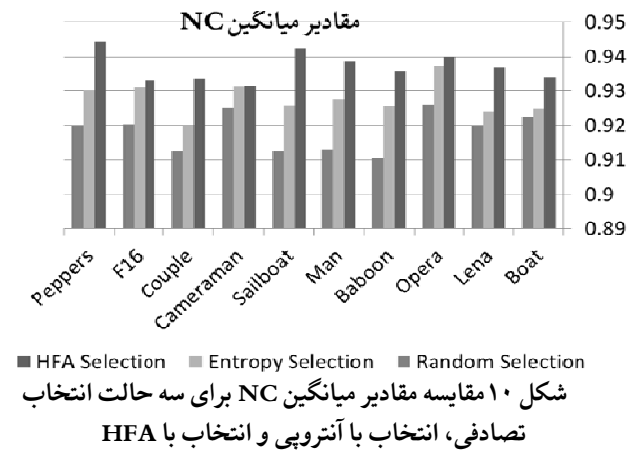
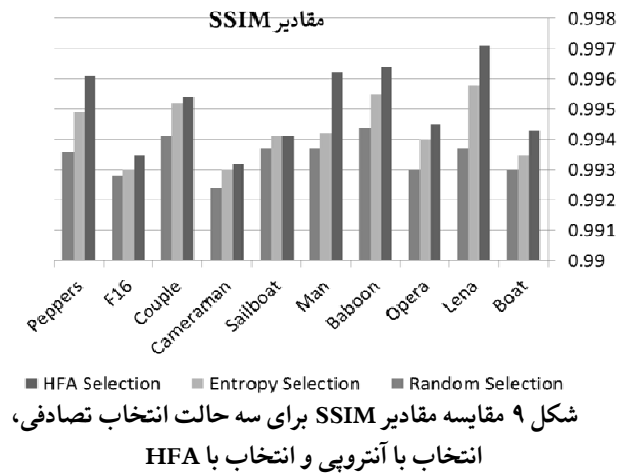
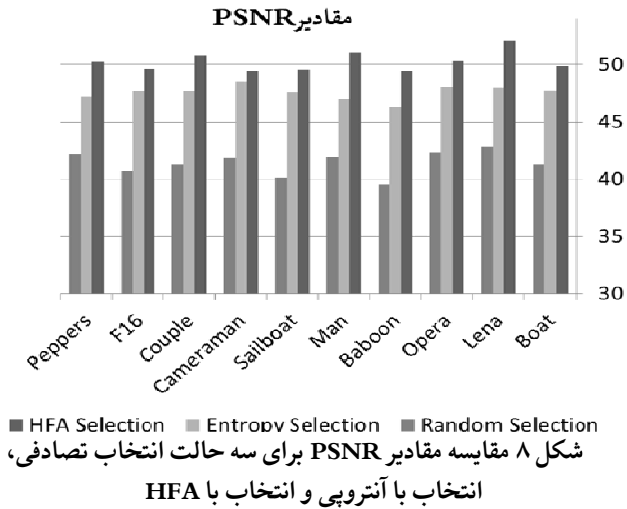
جدول ۱: پردازش‌های استفاده شده برای ارزیابی مقاومت

شماره حمله	شرح حمله
۱	نویز گوسی با تراکم ۰/۰۰۱
۲	نویز گوسی با تراکم ۰/۰۰۵
۳	نویز گوسی با تراکم ۰/۰۰۹
۴	نویز فلفل نمک با تراکم ۰/۰۱
۵	نویز فلفل نمک با تراکم ۰/۰۲
۶	نویز فلفل نمک با تراکم ۰/۰۳
۷	متعادل کردن هیستوگرام
۸	تصحیح گاما با مقدار گاما ۰/۰۲
۹	تصحیح گاما با مقدار گاما ۰/۰۴
۱۰	فیلتر میانه با اندازه ۳×۳
۱۱	فیلتر میانگین با اندازه ۳×۳
۱۲	فیلتر پایین‌گذر گوسی با اندازه ۳×۳
۱۳	فیلتر پایین‌گذر گوسی با اندازه ۵×۵
۱۴	فیلتر تیز کردن
۱۵	تغییر مقیاس ۵۱۲-۱۰۲۵-۵۱۲
۱۶	تغییر مقیاس ۵۱۲-۲۵۶-۵۱۲
۱۷	چرخش ۴۵ درجه پاد ساعت‌گرد
۱۸	چرخش ۹۰ درجه پاد ساعت‌گرد
۱۹	چرخش ۵ درجه پاد ساعت‌گرد
۲۰	تخریب یک چهارم از مرکز تصویر
۲۱	تخریب یک چهارم از پایین سمت چپ تصویر
۲۲	تخریب یک چهارم از بالا سمت راست تصویر
۲۳	فشرده سازی JPEG با کیفیت ۷۰
۲۴	فشرده سازی JPEG با کیفیت ۸۰
۲۵	فشرده سازی JPEG با کیفیت ۹۰

جدول ۲: مقادیر PSNR، SSIM و NC برای تصاویر ته‌نقش

گذاری شده مورد آزمایش بدون اعمال حملات.

تصاویر	NC	SSIM	PSNR
Boat	۱	۰/۹۹۴۳	۴۹/۸۷۶۷
Lena	۱	۰/۹۹۷۱	۵۲/۰۷۴۴
Opera	۱	۰/۹۹۴۵	۵۰/۳۴۴۸
Baboon	۱	۰/۹۹۶۴	۴۹/۴۱۰۶
Man	۱	۰/۹۹۶۲	۵۱/۰۳۱۴
Sailboat	۱	۰/۹۹۴۱	۴۹/۵۷۳۶
Cameraman	۱	۰/۹۹۳۲	۴۹/۴۶۵۵
Couple	۱	۰/۹۹۵۴	۵۰/۷۶۷۷
F16	۱	۰/۹۹۳۵	۴۹/۶۰۸۹
Peppers	۱	۰/۹۹۶۱	۵۰/۲۶۱۳
میانگین	۱	۰/۹۹۵۰	۵۰/۲۴۱۵



کیفیت ته‌نقش استخراج شده بوسیله NC محاسبه می‌شود. جهت ارزیابی مقاومت روش پیشنهادی پردازش‌ها و حملات متعددی به تصویر ته‌نقش‌گذاری شده اعمال و پس از استخراج ته‌نقش مقدار NC محاسبه می‌شود. در جدول ۳ و ۴ مقادیر NC بدست آمده برای تصاویر مورد آزمایش در برابر حملات جدول ۱ آورده شده‌اند. مقادیر NC در اکثر موارد بیش از ۰/۸ است. با توجه به نتایج بدست آمده روش پیشنهادی مقاومت خوبی در برابر اکثر حملات دارد که مقادیر بالای NC مویده آن است.

جهت بررسی تأثیر الگوریتم HFA بر انتخاب بلوک‌ها، روش ارائه شده در سه حالت مختلف تست شده‌است: حالت اول: انتخاب بلوک‌ها و حدود آستانه با استفاده از الگوریتم HFA انجام می‌شوند. این روش انتخاب با HFA (HFA Selection) نامیده می‌شود.

حالت دوم: انتخاب بلوک‌ها با استفاده از آنتروپی انجام شده و بلوک‌هایی با آنتروپی کمتر انتخاب می‌شوند و از حد آستانه ثابت 0.015 که وسط بازه [0.01, 0.03] است، برای جاسازی ته‌نقش در همه بلوک‌ها استفاده می‌شود. این روش انتخاب با آنتروپی، (Entropy Selection) نامیده می‌شود.

حالت سوم: انتخاب بلوک‌ها بصورت تصادفی انجام شده و از حد آستانه ثابت 0.015 برای جاسازی ته‌نقش در همه بلوک‌ها استفاده می‌شود. این روش انتخاب تصادفی (Random Selection) نامیده می‌شود.

مقایسه میزان PSNR، SSIM و میانگین NC برای این سه حالت به ترتیب در شکل‌های ۸ تا ۱۰ نمایش داده شده است. با توجه به نتایج بدست آمده استفاده از HFA موجب بهبود قابل توجه شفافیت و مقاومت شده‌است.

در فصل ۴-۴ گفته شد که تابع هدف بکار رفته در الگوریتم کرم شب‌تاب ترکیبی از مقادیر PSNR و SSIM قبل از اعمال حملات و میانگین NC بعد از اعمال حملات می‌باشد و یک تابع کمینه ساز است. این تابع (رابطه ۲۱) طوری تعریف شده که مقادیر کمتر آن گویای شفافیت و مقاومت بیشتر ته‌نقش می‌باشند. مقدار تابع هدف برای سه حالت مورد بحث محاسبه شده و نتایج در شکل ۱۱ نمایش داده شده‌اند. در حالت استفاده از HFA تابع هدف دارای مقادیر کمتر است که مویده افزایش شفافیت و مقاومت در این حالت است. طبیعی است که روش تصادفی مقادیر تابع هدف بیشتری دارد.

۶ آمده است. در روش ارائه شده توسط علی و همکاران از آنتروپی برای انتخاب بلوک‌ها و از الگوریتم کلونی زنبور عسل جهت بهینه سازی حدود آستانه استفاده شده است [۱۳]. کاظمی‌وش و همکاران از انحراف معیار برای انتخاب بلوک‌های مناسب و از الگوریتم کرم شب‌تاب برای بهینه سازی حدود آستانه استفاده می‌کنند [۱۱]، درحالی‌که دونگ و همکاران و معین‌الدینی و افسری از هیچ تکنیکی برای انتخاب بلوک‌های مناسب بهره نبرده‌اند و از همه بلوک‌های ممکن استفاده کرده‌اند اما در هر دوی این روش‌ها از الگوریتم کرم شب‌تاب برای بهینه سازی حدود آستانه استفاده شده است [۲۰، ۲۱].

برای انجام تجزیه و تحلیل‌های تجربی، همه تصاویر میزبان، خاکستری و با اندازه  $512 \times 512$  و تصویر ته‌نقش باینری با اندازه  $64 \times 64$  در نظر گرفته شده است. همه روش‌ها در نرم افزار MATLAB 2015R و بر روی سیستمی با پردازنده Core 2 Duo و ۴ گیگا بایت رم و ویندوز 7 شبیه سازی شده‌اند و در انجام شبیه سازی‌ها مقادیر پارامترهای استفاده شده در هر روش برابر مقادیر ذکر شده در مقالات مربوطه در نظر گرفته شده‌اند.

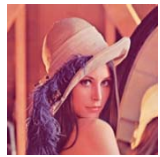


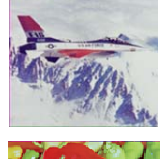
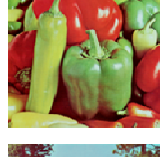

شکل‌های ۱۲ و ۱۳ به ترتیب میانگین PSNR و SSIM روش ارائه شده در مقایسه با چهار روش ذکر شده [۱۱، ۱۳، ۲۰، ۲۱] را برای تصاویر مورد آزمایش در حالتی که هیچ حمله‌ای اعمال نشده‌است را نشان می‌دهد. نتایج بدست آمده نشان دهنده مقادیر بیشتر PSNR و SSIM و در نتیجه کیفیت بالاتر تصاویر ته‌نقش‌گذاری شده با استفاده از روش پیشنهادی است.

برای مقایسه مقاومت روش پیشنهاد شده با سایر روش‌ها، پس از ته‌نقش‌گذاری ۱۰ تصویر مورد آزمایش با استفاده از چهار روش [۱۱، ۱۳، ۲۰، ۲۱] و روش پیشنهادی، ۲۵ حمله جدول ۱ به تصاویر اعمال شده و پس از بازیابی ته‌نقش مقدار میانگین NC برای هر تصویر محاسبه شده است و نتایج در شکل ۱۴ نشان داده شده‌اند. با توجه به نتایج بدست آمده مقدار NC روش پیشنهادی بهتر از مقادیر چهار روش دیگر است که بیانگر مقاومت بیشتر این روش نسبت به سایر روش‌هاست. با اینکه روش ارائه شده توسط دونگ و همکاران [۲۰] مقادیر PSNR و SSIM خوبی تولید می‌کند اما مقاومت آن در برابر حملات کمتر از روش پیشنهادی است.

برای مقایسه کارایی روش ارائه شده از حیث ایجاد موازنه بین مقاومت و شفافیت در مقایسه با سایر روش‌ها، میانگین PSNR، SSIM و NC را برای ده تصویر مورد آزمایش در جدول ۷ آورده‌ایم. مقادیر تابع هدف (رابطه ۲۱) برای همه روش‌ها با استفاده از این مقادیر محاسبه شده و در سطر آخر همین جدول نشان داده شده‌اند. از آن جا که تابع هدف یک تابع مینیمم ساز است، مقادیر کمتر آن بیانگر کیفیت مطلوب‌تر از حیث شفافیت و مقاومت است. روش ارائه شده کمترین مقدار تابع هدف را تولید می‌کند یعنی با بیشترین شفافیت دارای بالاترین مقاومت است و این دلیل انتخاب بهینه حدود آستانه و بلوک‌ها برای جاسازی ته‌نقش توسط HFA است.

برای جاسازی ته‌نقش در تصاویر رنگی طبق مطالب بخش ۳-۳ ابتدا PCA روی تصاویر با فرمت رنگ RGB اعمال شده سپس ته‌نقش در مؤلفه اصلی آن جاسازی می‌شود. ته نقش‌گذاری روی مؤلفه اصلی بجای کانال‌های رنگ RGB موجب شفافیت بیشتر تصاویر خواهد شد. در این قسمت ته نقش‌گذاری روی تعدادی تصویر رنگی انجام شده و نتایج PSNR، SSIM، میانگین NC پس از اعمال حملات جدول ۱ در جدول ۵ نمایش داده شده‌اند. از آنجا که حجم اطلاعات تصاویر رنگی بیشتر از تصاویر خاکستری است و ته نقش فقط در مؤلفه اصلی قرار می‌گیرد، مقادیر PSNR و SSIM نسبت به تصاویر خاکستری افزایش یافته‌اند اما مقادیر میانگین NC تقریباً یکسان هستند.

جدول ۵: مقادیر PSNR، SSIM و NC برای تصاویر رنگی ته‌نقش‌گذاری شده.

تصاویر	PSNR	SSIM	میانگین NC
	۵۴/۹۵۴۶	۰/۹۹۹۵	۰/۹۳۵۰
	۵۲/۲۳۵۰	۰/۹۹۸۶	۰/۹۴۵
	۵۲/۰۱۲۹	۰/۹۹۹۰	۰/۹۲۵۷
	۵۱/۵۹۹۵	۰/۹۹۸۵	۰/۹۳۴۹
	۵۳/۲۸۸۳	۰/۹۹۹۰	۰/۹۵۰۸
	۵۱/۷۱۰۶	۰/۹۹۸۸	۰/۹۴۲۷

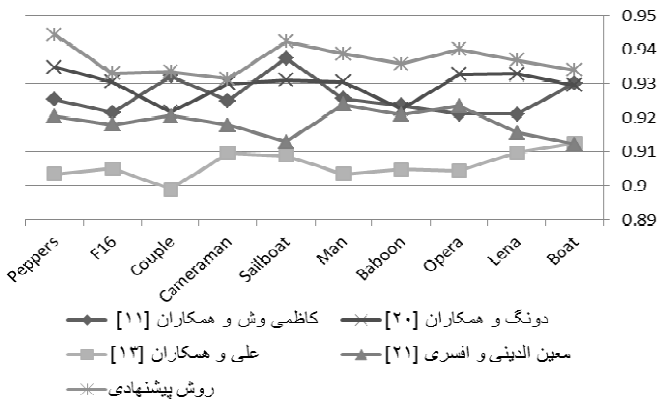
## ۶. مقایسه و بحث

در ادامه نتایج بدست آمده از روش پیشنهادی با نتایج روش‌های مشابه ارائه شده توسط علی و همکاران [۱۳]، دونگ و همکاران [۲۰]، کاظمی‌وش و همکاران [۱۱] و معین‌الدینی و افسری [۲۱] مقایسه شده‌اند. این روش‌ها در بررسی منابع مختصراً شرح داده شده‌اند و خلاصه‌ای از مقایسه آن‌ها در جدول

جدول ۶. خلاصه روش‌ها

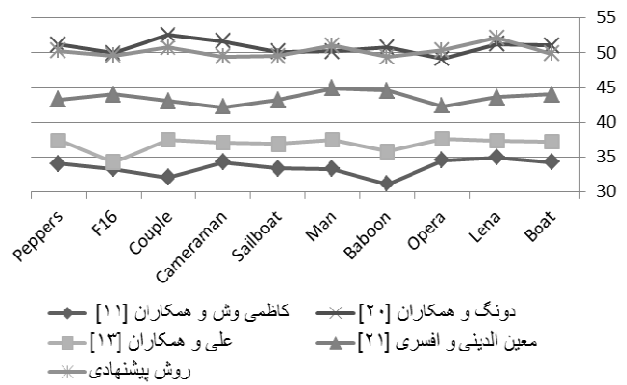
ویژگی	روش پیشنهادی	روش علی و همکاران [۱۳]	روش دونگ و همکاران [۲۰]	کاظمی وش و همکاران [۱۱]	معین الدینی و افسری [۲۱]
روش انتخاب بلوک	HFA	آنتروپی	-	انحراف معیار	-
دامنه تبدیل	هادامارد	موجکبا توزیع ثابت و SVD	SVD و موجک	موجک آسانسور	SVD و موجک
روش بهینه سازی حدود آستانه	HFA	ABC	FA آشوب گون	FA	FA
اندازه تصویر میزبان	۵۱۲×۵۱۲	۵۱۲×۵۱۲	۵۱۲×۵۱۲	۵۱۲×۵۱۲	۵۱۲×۵۱۲
اندازه ته‌نقش	۶۴×۶۴	۳۲×۳۲	۶۴×۶۴	۳۲×۳۲	۳۲×۳۲

مقادیر میانگین NC



شکل ۱۴ مقادیر میانگین NC روش پیشنهادی در مقایسه با روش‌های علی و همکاران [۱۳]، دونگ و همکاران [۲۰]، کاظمی وش و همکاران [۱۱] و معین الدینی و افسری [۲۱]

مقادیر PSNR

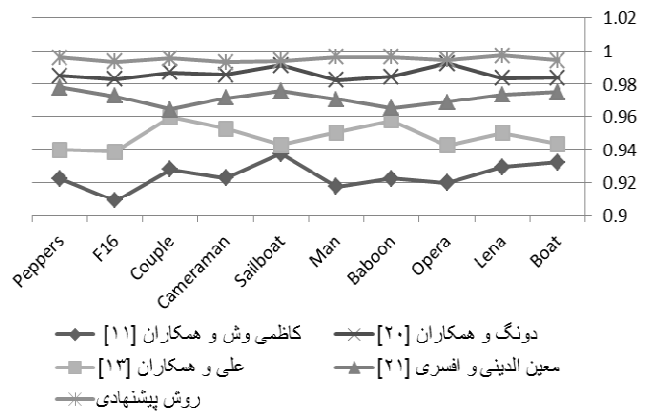


شکل ۱۲. مقادیر PSNR روش پیشنهادی در مقایسه با روش‌های علی و همکاران [۱۳]، دونگ و همکاران [۲۰]، کاظمی وش و همکاران [۱۱] و معین الدینی و افسری [۲۱]

جدول ۷ مقادیر میانگین PSNR، SSIM، NC و تابع هدف روش پیشنهادی در مقایسه با چهار روش [۱۱، ۱۳، ۲۰، ۲۱] برای ۱۰ تصویر مورد آزمایش

میانگین برای ۱۰ تصویر مورد آزمایش	روش پیشنهادی	علی و همکاران [۱۳]	دونگ و همکاران [۲۰]	کاظمی و همکاران [۱۱]	معین الدینی و افسری [۲۱]
PSNR	۵۰/۲۴	۳۶/۸۸	۵۰/۷۸	۳۳/۵۵	۴۴/۵۳
SSIM	۰/۹۹۵۰	۰/۹۴۷۸	۰/۹۸۵۸	۰/۹۲۴۳	۰/۹۷۱۵
میانگین NC	۰/۹۳۷۰	۰/۹۰۶۱	۰/۹۲۹۶	۰/۹۲۶۳	۰/۹۱۸۵
تابع هدف	۲/۲۷۱۲	۲/۴۲۹۸	۲/۲۸۶۹	۲/۴۵۹۴	۲/۳۴۷۶

مقادیر SSIM



شکل ۱۳. مقادیر SSIM روش پیشنهادی در مقایسه با روش‌های علی و همکاران [۱۳]، دونگ و همکاران [۲۰]، کاظمی وش و همکاران [۱۱] و معین الدینی و افسری [۲۱]

## نتیجه‌گیری

در این مقاله یک روش ته‌نقش‌گذاری جدید و مقاوم برای تصاویر رنگی و خاکستری، در دامنه تبدیل هادامارد پیشنهاد شده است. برای جاسازی ته‌نقش تصویر میزبان به بلوک‌های بدون هم‌پوشانی تقسیم شده سیس بلوک‌ها و حدود آستانه مورد نیاز با استفاده از الگوریتم HFA انتخاب می‌شوند. هر چهار بیت ته‌نقش در یکی از بلوک‌های انتخاب شده از تصویر میزبان با استفاده از یک حد آستانه بهینه انتخاب شده جاسازی می‌شوند. بازیابی ته‌نقش بصورت نیمه‌کور انجام می‌شود و تابع هدف الگوریتم بهینه ساز، ترکیبی از میزان شفافیت و مقاومت ته‌نقش است. در روش پیشنهادی الگوریتم HFA به عنوان نسخه‌ای جدید از الگوریتم کرم شب‌تاب که هم‌زمان مقادیر گسسته و غیر تکراری برای بلوک‌ها و مقادیر پیوسته و احیاناً تکراری برای حدود آستانه تولید می‌کند، ارائه شده و بکار رفته است. استفاده از HFA موجب افزایش میزان شفافیت و مقاومت ته‌نقش می‌شود. مقاومت این روش با استفاده از ۲۵ پردازش مختلف بر روی ده تصویر استاندارد مورد بررسی قرار گرفت که نتایج حاصل از پیاده سازی ها گویای افزایش میزان شفافیت و مقاومت روش پیشنهادی نسبت به سایر روش‌های مشابه می‌باشد. روش ارائه شده از حیث معرفی الگوریتم کرم شب‌تاب ترکیبی و استفاده از آن برای انتخاب بهینه بلوک‌ها و حدود آستانه، جدید بوده و تا کنون مشابه آن انجام نشده است. افزایش بیشتر مقاومت ضمن حفظ شفافیت با استفاده از روش‌های آماری جدید و تعمیم این روش برای اجرا بر روی ویدئو می‌تواند موضوع کارهای بعدی باشد.

## مراجع

- [5] Li, J., "Robust image watermarking scheme against geometric attacks using a computer-generated hologram," *Applied Optics*, vol. 49, pp. 6302-12, 2010.
  - [6] Elshazly, E. H., O. S. Faragallah, A. M. Abbas, M. A. Ashour, E.-S. M. El-Rabaie, H. Kazemian, et al., "Robust and secure fractional wavelet image watermarking," *SIGNAL IMAGE VIDEO*, vol. 9, pp. 89-98, 2015.
  - [7] Naderahmadian, Y. and S. Hosseini-Khayat, "Fast watermarking based on QR decomposition in wavelet domain," in *Sixth International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing (IIH-MSP)*, pp. 127-30, 2010.
  - [8] Sadreazami, H., M. O. Ahmad, and M. Swamy, "Multiplicative watermark decoder in contourlet domain using the normal inverse Gaussian distribution," *IEEE Transactions on Multimedia*, vol. 18, pp. 196-207, 2016.
  - [9] Maity, S. P. and M. K. Kundu, "Perceptually adaptive spread transform image watermarking scheme using Hadamard transform," *Information Sciences*, vol. 181, pp. 450-65, 2011.
  - [10] Maity, S. P. and M. K. Kundu, "DHT domain digital watermarking with low loss in image informations," *Aeu-International Journal Of Electronics And Communications*, vol. 64, pp. 243-57, 2010.
  - [11] Kazemivash, B. and M. E. Moghaddam, "A predictive model-based image watermarking scheme using Regression Tree and Firefly algorithm," *Soft Computing*, pp. 1-16, 2017.
  - [12] Raihan, H. K. and M. Gogoi, "A Variance based Approach (VBA) Digital Watermarking in Frequency Domain and Comparative Analysis using Walsh and Hadamard transform," *International Journal of Computer Applications*, vol. 163, 2017.
  - [13] Ali, M., C. W. Ahn, M. Pant, and P. Siarry, "An image watermarking scheme in wavelet domain with optimized compensation of singular value decomposition via artificial bee colony," *Information Sciences*, vol. 301, pp. 44-60, 2015.
  - [14] Vahedi, E., R. A. Zoroofi, and M. Shiva, "Toward a new wavelet-based watermarking approach for color images using bio-inspired optimization principles," *Digital Signal Processing*, vol. 22, pp. 153-162, 2012.
  - [15] Ishtiaq, M., B. Sikandar, M. A. Jaffar, and A. Khan, "Adaptive watermark strength selection using particle swarm optimization," *ICIC Express Letters*, vol. 4, pp. 1-6, 2010.
  - [16] Loukhaoukha, K., J.-Y. Chouinard, and M. H. Taieb, "Optimal image watermarking algorithm based on LWT-SVD via multi-objective ant colony optimization," *Journal of Information Hiding and Multimedia Signal Processing*, vol. 2, pp. 303-319, 2011.
  - [17] Moeinaddini, E. and F. Afsari, "Robust watermarking in DWT domain using SVD and opposition and
- [1] Abdallah, E. E., A. B. Hamza, and P. Bhattacharya, "A robust block-based image watermarking scheme using fast Hadamard transform and singular value decomposition," in *18th International Conference on Pattern Recognition*, 2006. ICPR, Hong Kong, 2006, pp. 673-76.
  - [۲] مردانپور، ملیحه، چاهوکی، محمدعلی و جوانشیری، حسین "مقایسه تحلیلی اثربخشی انواع تبدیل‌های توسعه‌یافته موجک بر شفافیت و مقاومت نشانه‌گذاری تصویر مبتنی بر تجزیه ماتریسی"، *مجله ماشین بینایی و پردازش تصویر*. دوره ۴، شماره ۱، ص ۷۱ تا ۸۷، ۱۳۹۶.
  - [3] Patra, J. C., J. E. Phua, and C. Bornand, "A novel DCT domain CRT-based watermarking scheme for image authentication surviving JPEG compression," *Digital Signal Processing*, vol. 20, pp. 1597-1611, 2010.
  - [4] Rawat, S. and B. Raman, "A new robust watermarking scheme for color images," in *IEEE 2nd International Advance Computing Conference (IACC)*, pp. 206-09, 2010.

- Speech, and Signal Processing, Phoenix, AZ, USA, vol.6, pp. 3049-52,1999.
- [31] Santhi, V. and P. Arulmozhivarman, "Hadamard transform based adaptive visible/invisible watermarking scheme for digital images," Journal of Information Security and Applications, vol. 18, pp. 167-79, 2013.
- [32] Xiang-yang Wang, L.-m. H. J. W., "A feature-based robust digital image watermarking against geometric attacks," Image and Vision Computing, vol. 26, pp. 980-89, 2008.
- [33] Santhi, V. and A. Thangavelu, "DWT-SVD combined full band robust watermarking technique for color images in YUV color space," International Journal of Computer Theory and Engineering, vol. 1, p. 424, 2009.
- [34] Sun, X. and S. Bo, "A blind digital watermarking for color medical images based on PCA," in IEEE International Conference on Wireless Communications, Networking and Information Security (WCNIS), pp. 421-427,2010.
- [35] Lewis, J., "Fast normalized cross-correlation," in Vision interface, pp. 120-123, 1995.
- [36] Zhang, L., L. Zhang, X. Mou, and D. Zhang, "FSIM: A feature similarity index for image quality assessment," IEEE transactions on Image Processing, vol. 20, pp. 2378-86, 2011.
- [37] USC-SIPI, <http://sipi.usc.edu/database/>, in, Signal and Image Processing Institute, University of Southern California 2016.
- dimensional based modified firefly algorithm," Multimedia Tools and Applications, vol. 77, pp. 26083-105, 2018.
- [18] Mishra, A., C. Agarwal, A. Sharma, and P. Bedi, "Optimized gray-scale image watermarking using DWT-SVD and Firefly Algorithm," Expert Systems with Applications, vol. 41, pp. 7858-67, 2014.
- [19] Ali, M. and C. W. Ahn, "Comments on "Optimized gray-scale image watermarking using DWT-SVD and Firefly Algorithm"," Expert Systems with Applications, vol. 42, pp. 2392-94, 2015.
- [20] Dong, H., M. He, and M. Qiu, "Optimized Gray-Scale Image Watermarking Algorithm Based on DWT-DCT-SVD and Chaotic Firefly Algorithm," in International Conference on Cyber-Enabled Distributed Computing and Knowledge Discovery (CyberC), pp. 310-313, 2015.
- [۲۱] معین الدینی، الهام و افسری، فاطمه "نهان نگاری بهینه تصاویر خاکستری با استفاده از الگوریتم کرم شب تاب"، در هشتمین کنفرانس بین المللی فناوری اطلاعات و دانش، همدان دانشگاه بوعلی سینا، ۱۳۹۵.
- [22] Shannon, C. E., "A mathematical theory of communication.," Bell system technical journal, vol. 27, pp. 379-423. , 1948.
- [23] Lai, C.-C., "An improved SVD-based watermarking scheme using human visual characteristics," Optics Communications, vol. 284, pp. 938-44, 2011.
- [24] Franklin, R. V., M. GRS, and V. Santhi, "Entropy based robust watermarking scheme using Hadamard transformation technique," International Journal of Computer Applications, vol. 12, pp. 14-21, 2011.
- [۲۵] معین الدینی، الهام، "روشی مقاوم برای نهان نگاری تصاویر دیجیتالی با استفاده از تبدیل هادامارد"، در دومین همایش ملی مهندسی رایانه و مدیریت فناوری اطلاعات، تهران- ایران، ۱۳۹۴.
- [26] Kazemivash, B. and M. E. Moghaddam, "A robust digital image watermarking technique using lifting wavelet transform and firefly algorithm," Multimedia Tools and Applications, pp. 1-26, 2016.
- [27] Sadreazami, H. and M. Amini, "A Robust Image Watermarking Scheme Using Local Statistical Distribution in the Contourlet Domain," IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs, 2018.
- [28] Aung, A., B. P. Ng, and S. Rahardja, "A Robust Watermarking Scheme Using Sequency-ordered Complex Hadamard Transform," J. Signal Process. Syst., vol. 64, pp. 319-33, 2011.
- [29] Sarker, M. I. H. and M. I. Khan, "An efficient image watermarking scheme using BFS technique based on hadamard transform," SmartCR, vol. 3, pp. 298-308, 2013.
- [30] Ramkumar, M., A. N. Akansu, and A. A. Alatan, "On the choice of transforms for data hiding in compressed video," in IEEE International Conference on Acoustics,



**الهام معین الدینی** مدرک کارشناسی خود را در رشته علوم کامپیوتر در سال ۱۳۸۳ از دانشگاه شهید باهنر کرمان دریافت نمود. مدرک کارشناسی ارشد خود را در رشته علوم کامپیوتر گرایش امنیت اطلاعات در سال ۱۳۸۶ از دانشگاه دهلی کشور هندوستان دریافت نمود. وی هم اکنون عضو هیات علمی گروه برق و الکترونیک دانشگاه جیرفت است. زمینه های پژوهشی مورد علاقه او نهان نگاری تصویر، پردازش تصویر، پردازش سیگنال و روش های بهینه سازی ابتکاری است.

مورد علاقه او نهان نگاری تصویر، پردازش تصویر، پردازش سیگنال و روش های بهینه سازی ابتکاری است.