

## ارائه روشی جهت بهبود پایداری نهان نگاری در مقابل حملات نویزی و فشرده سازی با ترکیب تبدیل موجک و تبدیل تجزیه مقادیر منفرد

محسن قائمی زاده<sup>(۱)</sup> - حسین پورقاسم<sup>(۲)</sup> - همایون مهدوی نسب<sup>(۲)</sup> - احمد کشاورز<sup>(۳)</sup>

(۱) کارشناس ارشد - گروه برق، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد رفسنجان

(۲) استادیار - دانشکده مهندسی برق، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نجف آباد

(۳) استادیار - دانشکده مهندسی برق، دانشگاه خلیج فارس بوشهر

تاریخ دریافت: بهار ۱۳۸۹ تاریخ پذیرش: پاییز ۱۳۹۰

**خلاصه:** به منظور حفظ قانون حق تألیف، یکی از روش‌هایی که مورد استفاده و استقبال قرار گرفته، نهان نگاری یا واترمارکینگ است. پایداری روش نهان نگاری در مقابل حملات مختلف، مهمترین ملاک برای ارزیابی آن روش می‌باشد. در این مقاله، یک روش نهان نگاری جدید نیمه کور با استفاده از ترکیب تبدیل موجک و تجزیه مقادیر منفرد برای اثبات حق تألیف ارائه شده است. مهمترین مزیت این روش نسبت به روش‌های مشابه پایداری خوب آن در مقابل بیشتر حملات رایج خصوصاً حملات نویزی و فشرده سازی است حال آنکه در روش‌های دیگر، تصویر نهان نگاری شده در مقابل بعضی حملات، مقاومت خوبی دارند و در مقابل بعضی دیگر آسیب پذیرند. در روش پیشنهادی، از ترکیب دو تبدیل کارآمد و مؤثر در زمینه نهان نگاری، به صورت همزمان استفاده شده است. در کارهای انجام شده قبلی، از هر کدام از تبدیلات فوق، جداگانه در نهان نگاری استفاده شده ولی در روش پیشنهادی با ترکیب این دو تبدیل، از ویژگی‌های هر دو تبدیل، همزمان به عنوان یک روش بهبود یافته در نهان نگاری استفاده شده است. نتایج آزمایش‌ها به خوبی پایداری این روش را در مقابل طیف وسیع تری از حملات مختلف نشان می‌دهد.

**کلمات کلیدی:** نهان نگاری، حق تألیف، واترمارک، تبدیل موجک، تبدیل تجزیه مقادیر منفرد.

### ۱- مقدمه

همواره در آن باقی می‌ماند. برای استفاده از داده نهان نگاری شده، نیازی به برداشتن سیگنال واترمارک نیست. زیرا این سیگنال طوری در داده میزبان درج می‌شود که هیچ تأثیر نامطلوبی بر داده اصلی نمی‌گذارد. به عنوان مثال در نهان نگاری داده در تصویر، چشم انسان نباید تفاوت بین تصویر اصلی و تصویر واترمارک شده را حس کند. در این صورت هرگونه استفاده غیر مجاز از تصویر واترمارک شده، مانند کپی غیرمجاز از آن یا هرگونه تحریف و تغییر تصویر توسط افراد غیرمجاز، صاحب اصلی داده می‌تواند با استخراج سیگنال واترمارک که تنها توسط او امکان پذیر است، مالکیت خود را به اثبات برساند.

### ۲- اهداف و ملزومات نهان نگاری

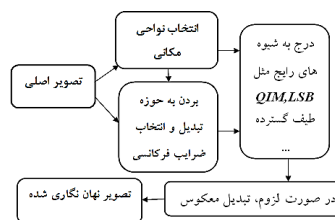
نهان نگاری کاربردهای مختلفی دارد مانند: اثبات حق مالکیت یا حفظ حق نشر، نهان کردن داده‌های مختلف با امکان ردگیری، کنترل عمل کپی برداری، نظارت بر پخش، تصدیق صحت داده، برچسب زدن به تصاویر، ارتباطات مخفیانه و پنهان سازی داده. گرچه هر کاربردی از

امروزه با تولید روزافزون تکنولوژی دیجیتال و گسترش اطلاعات و دسترسی بسیاری از رایانه‌های شخصی به شبکه جهانی اینترنت، محصولات دیجیتالی چند رسانه‌ای دیجیتالی به آسانی از طریق این شبکه بین افراد مختلف توزیع می‌شوند. به این ترتیب، توزیع غیر مجاز محصولات دارای حق تألیف به راحتی ممکن می‌شود. به همین جهت برای حفاظت از محصولات دیجیتال چند رسانه‌ای مثل صدا، تصویر، پویانمایی و فیلم در برابر کپی‌های غیر مجاز و دارای حق تألیف از دو تکنیک رمزنگاری<sup>۱</sup> و نهان نگاری<sup>۲</sup> استفاده می‌شود. روش‌های رمزنگاری برای حفاظت داده دیجیتال به هنگام انتقال از فرستنده به گیرنده به کار می‌روند. داده‌ها در فرستنده رمز می‌شوند و پس از دریافت در گیرنده رمزگشایی می‌شوند. از این پس دیگر هیچگونه حفاظتی از داده صورت نمی‌گیرد. ولی در روش‌های نهان نگاری، یک سیگنال پنهانی به نام الگو (واترمارک)، مستقیماً در داخل داده میزبان درج می‌شود و

نهان‌نگاری تصویر نیازهای خاص خود را دارد، با این همه تمام روش‌های نهان‌نگاری باید ملزومات مشترکی را رعایت کنند که از مهمترین آنها می‌توان به شفافیت، پایداری و ظرفیت اشاره کرد. البته به دلیل اینکه نمی‌توان هر سه پارامتر را در بهترین حالت خود در عملیات نهان‌نگاری با هم داشت، لذا باید همواره بین آنها مصالحه‌ای برقرار نمود. قابل ذکر است که نهان‌نگاری از نقطه نظر آشکارسازی به سه دسته آشکارسازی کور، نیمه کور و بینا تقسیم می‌شود [۱].

**۳- فرایند کلی نهان‌نگاری**

در اکثر کارهای انجام شده مبنای کار بدین شکل است که در مرحله نخست، مکان‌ها یا فرکانس‌های مورد نظر برای عملیات درج را انتخاب می‌کنند. در بعضی روش‌ها با روش‌های پردازش تصویری مثل طبقه‌بندی الگو یا پیدا کردن لبه‌ها یا غیره، نواحی مختلف (مکانی-زمانی) را انتخاب می‌کنند. در مرحله بعدی یا از تبدیل‌ها استفاده کرده سپس با استفاده از شیوه‌های رایج درج (حک کردن الگو در دیتای میزبان) مانند QIM، LSB، طیف گسترده و غیره عملیات درج را انجام می‌دهند یا مستقیم از شیوه‌های رایج درج استفاده می‌کنند [۱]. در شیوه‌های دیگر، ابتدا تصویر را با استفاده از تبدیل‌های رایج به حوزه فرکانس برده و سپس با شیوه‌های رایج درج الگو که اشاره شد، ضرایب فرکانسی که برای درج مناسب هستند را تغییر می‌دهند و سپس با تبدیل معکوس، تصویر نهان‌نگاری حاصل می‌شود [۱]. شکل (۱)، قالب کلی نهان‌نگاری‌های رایج را نشان می‌دهد.



شکل (۱): بلوک دیاگرام کلی نهان‌نگاری

Fig. (1): General block diagram of watermarking algorithms

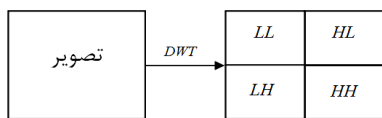
### ۳-۱- پیشینه کارهای انجام شده

نهان‌نگاری در دو حوزه خاص (زمان-مکان) و تبدیل (فرکانس) انجام می‌شود که روش‌های نهان‌نگاری در حوزه خاص عموماً در مقایسه با حوزه تبدیل از ظرفیت بالاتر و پایداری کمتری برخوردار هستند. از جمله روش‌های حوزه خاص می‌توان به روش LSB یا کد کردن بیت کم ارزش [۱،۲] اشاره کرد. این روش از ظرفیت بالایی در نهان‌نگاری بهره می‌برد ولی شکنندگی زیاد در مقابل حمله‌ها، از عیب‌های بزرگ این روش می‌باشد. از تبدیل‌های متداول در حوزه تبدیل، می‌توان به تبدیل فوریه گسسته DFT [۳] اشاره کرد. در این شیوه، عمل درج معمولاً در فرکانس‌های پایین صورت می‌گیرد و به همین دلیل شفافیت تصویر کاهش می‌یابد و در عوض پایداری بالایی دارد. تبدیل کسینوسی گسسته DCT [۴]، از جمله تبدیل‌های مهم در این حوزه است. از کارهای انجام شده در این حوزه، یکی روش Piva [۵] است. در این الگوریتم،

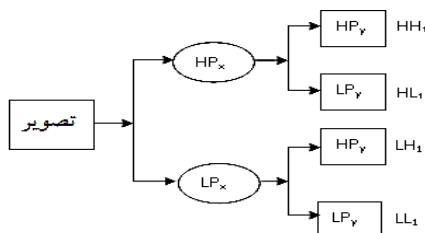
### ۳-۲- تبدیل تجزیه مقادیر منفرد (SVD)

این تبدیل، یک ابزار کارآمد و مؤثر در آنالیز عددی است. این تبدیل به دلیل کاربرد در محث ماتریس‌ها و نظر به اینکه یک تصویر دیجیتال هم یک ماتریس است، می‌تواند در فرایند نهان‌نگاری مؤثر باشد. از نتایج تحقیقات اخیر به کارآمدی این روش می‌توان پی برد که از جمله آنها، پایداری در مقابل حملاتی مثل چرخش و نویز است. از به کار

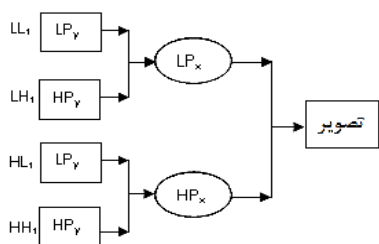
شکل (۳)، تجزیه به زیر باندها را با استفاده از فیلترهای بالاگذر و پایین گذر و شکل (۴)، معکوس گیری از تبدیل را نشان می‌دهد.



شکل (۲): عملکرد تبدیل موجک ۲ بعدی  
Fig. (2): 2-D wavelet transform structure



شکل (۳): تجزیه به زیر باندها [۱۴]  
Fig. (3): Sub-band decomposition [14]



شکل (۴): معکوس گیری از تبدیل [۱۴]  
Fig. (4): Reconstruction of original image [14]

#### ۴- روش پیشنهادی

هر الگوریتم نهان نگاری، شامل دو قسمت است: عمل درج الگو و عمل استخراج الگو. واضح است این دو عمل به هم وابسته هستند. اما از ویژگی‌های روش پیشنهادی انتخاب تبدیلاتی (DWT و SVD) است که هر کدام به تنهایی هم، قابلیت زیادی در نهان نگاری دارند. حال آنکه ترکیب به جای این دو تبدیل و استفاده همزمان از آنها بهبود مقاومت نهان نگاری را کاملاً محسوس کرده که نتایج روش پیشنهادی، برتری این روش را به الگوریتم‌های تکی یا ترکیبی مشابه را نشان می‌دهد. از دیگر مزایای الگوریتم پیشنهادی، علاوه بر استفاده از الگوهای باینری، امکان استفاده از الگوهای غیرباینری علاوه بر الگوهای باینری است که این مزیت، امکان استفاده از الگوهای بسیار بیشتری را برای طراح الگو فراهم می‌کند.

#### ۴-۱- درج الگو

ابتدا از تصویر میزبان تبدیل موجک گرفته و از زیر باند LL تبدیل موجک را تا n سطح دیگر انجام داده تا اندازه زیر باند  $HL_n$  (یا  $LH_n$ ) با ابعاد الگو یکی شود (باید در انتخاب ابعاد الگو و تصویر میزبان دقت شود). علت انتخاب این ناحیه، تعادل یا مصالحه بین مقاومت نهان نگاری

بردن این تبدیل بر روی ماتریس دلخواه A با ابعاد  $m \times n$  طبق رابطه (۱) سه ماتریس U، V و D به دست می‌آید به طوری که ماتریس‌های V و U متعامدند. ضرایب این دو ماتریس، ضرایب کوچکی هستند، (روابط (۲) و (۳)) که برای نهان نگاری‌هایی که نامرئی بودن الگو مهم‌تر از پایداری آن است، مناسب هستند. ماتریس D که با ارزش‌ترین ضرایب را شامل می‌شود، یک ماتریس مربعی و قطری با ضرایب قطری نزولی  $D(0,0)$  بزرگترین ضریب) و بزرگتر از صفر که درج در ضرایب این ماتریس، پایداری الگو را بالا می‌برد (رابطه (۴)). روابط مربوط به این تبدیل در زیر آمده است [۷].

$$A = U \times D \times V^T \quad (1)$$

$$V \times V^T = I_{\text{rank}(A)} \quad (2)$$

$$U \times U^T = I_{\text{rank}(A)} \quad (3)$$

$$D = \begin{pmatrix} \sigma_1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \sigma_2 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & 0 & \sigma_3 & \dots & \vdots \\ 0 & \dots & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & \sigma_{\text{rank}(A)} \end{pmatrix}$$

$$D = \text{Diag}(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_n) \quad (4)$$

$$\sigma_1 > \sigma_2 > \dots > \sigma_{\text{rank}(A)} > 0$$

که در روابط فوق،  $\sigma_i$  ضرایب قطری ماتریس D می‌باشند.

#### ۳-۳- تبدیل موجک

این تبدیل یکی از پرکاربردترین تبدیل‌های مورد استفاده اخیر است که با سیستم بینایی انسان سازگاری کامل دارد. در تبدیل موجک، همانند شبکیه چشم انسان، تصویر به باندهای فرکانسی تقریباً مساوی با مقیاس لگاریتمی تقسیم می‌شود. به همین منظور، تغییرات ایجاد شده در حوزه تبدیل موجک برای چشم انسان کمتر قابل تشخیص است. در این تبدیل از فیلتر بانک‌های مختلفی می‌توان بهره برد که از جمله آنها می‌توان به Haar، Daubechies، Meyer و Morlet اشاره کرد. تبدیل موجک، عیب تبدیل فوری را در از دست رفتن اطلاعات حوزه زمان ندارد. روش تبدیل موجک به این صورت است که با ۲ فیلتر بالاگذر و پایین گذر متعامد (روابط ۵ و ۶)، تصویر به دو بخش فرکانس بالا و فرکانس پایین تقسیم می‌شود که تعداد نمونه‌ها در هر یک از این بخش‌ها نصف تعداد نمونه‌ها در سیگنال اصلی است [۱۴].

$$x_{\text{high}}[k] = \sum_n x[k] \cdot h[2k-n] \quad (5)$$

$$x_{\text{low}}[k] = \sum_n x[k] \cdot l[2k-n] \quad (6)$$

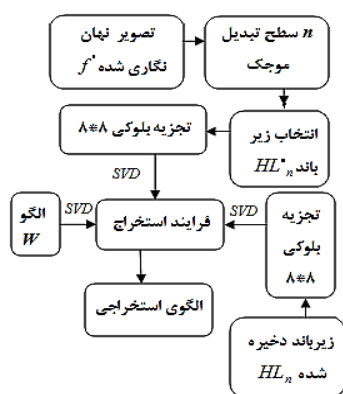
در روابط فوق  $x_{\text{low}}[k]$  و  $x_{\text{high}}[k]$  خروجی‌های فیلترهای بالاگذر و پایین گذر و  $h[2k-n]$  و  $l[2k-n]$  کانولوشن سیگنال با فیلترهای بالاگذر و پایین گذر با مقیاس ۲ را بیان می‌کند. از به کار بردن این تبدیل روی یک تصویر، ۴ زیر باند حاصل می‌شود که زیر باند LL بیشترین اطلاعات تصویر (فرکانس‌های پایین و اطلاعات تغییرات آرام) و زیر باندهای HL، LH و HH جزئیات تصویر (اطلاعات فرکانس بالا مثل لبه‌ها) را شامل می‌شوند. شکل (۲)، عملکرد تبدیل بر روی تصویر،

(۴) با استفاده از اعمال تبدیل SVD روی بلوک‌های الگوی اصلی (ماتریس‌های U و V) و ماتریس  $D^*$  با استفاده از رابطه (۹) بلوک‌های الگو را استخراج می‌کنیم. در نهایت از بازسازی بلوک‌های حاصله، الگو استخراج می‌گردد. شکل (۶) فرایند استخراج را نشان می‌دهد.

$$D^* = \sigma_w^* = (\sigma_{f_n}^* - \sigma_{f_n}) / \alpha \quad (8)$$

$$W_{ext} = U_w \times D^* \times V_w^T \quad (9)$$

که در روابط فوق  $\sigma_{f_n}^*$  عناصر قطر اصلی ماتریس D حاصله از اعمال تبدیل SVD بر روی بلوک‌های زیر باند  $HL_n^*$  تصویر نهان نگاری شده و  $\sigma_{f_n}$  عناصر قطر اصلی ماتریس D بلوک‌های زیر باند  $HL_n$  ذخیره شده از تصویر اصلی و  $W_{ext}$  بلوک‌های الگوی استخراجی است. از کنار هم گذاشتن آنها الگو بازسازی و استخراج می‌شود.



شکل (۶): الگوریتم پیشنهادی استخراج الگو

Fig. (6): Proposed watermark extraction algorithm

### ۳-۴- نتایج پیاده سازی

برای ارزیابی روش پیشنهادی، از نرم‌افزار Matlab 2008a استفاده شده است. حمله‌هایی از قبیل فیلترهای مختلف، انواع نویزها، چرخش و تخریب بخشی از تصویر، تعدیل هیستوگرام، افزایش و کاهش روشنایی تصویر و تغییر اندازه بررسی و غیره نشان داده شده است. در این آزمایش‌ها از فیلتر Daubechies استفاده شده است. از جمله پارامترهای مهم در ارزیابی کیفیت نهان‌نگاری (واترمارکینگ)، پیک سیگنال به نویز PSNR (رابطه (۱۰)) است.

$$PSNR = 10 \log \left( \frac{255^2}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N [X_{ij} - X'_{ij}]^2} \right) \quad (10)$$

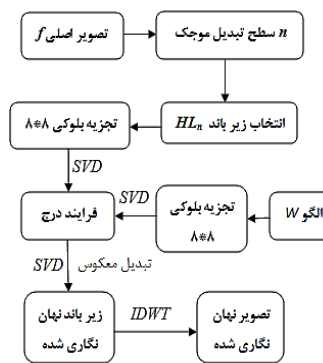
که  $X_{ij}$  و  $X'_{ij}$  مقادیر پیکسل‌های تصویر و N پارامتر دیگر، میزان شباهت الگوی اصلی با الگوی استخراج شده (Normalized Cross Correlation) NC (رابطه (۱۱)) است که در آزمایش‌ها آورده شده است [۱۲].

و در نظر گرفتن حساسیت سیستم بینایی انسان (کیفیت تصویر) است. چون ضرایب فرکانس بالا برای نهان‌نگاری‌هایی مناسب هستند که کیفیت تصویر نهان‌نگاری شده در آن، مهم‌تر از مقاومت آن باشد. در عوض نهان‌نگاری در فرکانس‌های پایین، مقاومت نهان‌نگاری را افزایش داده ولی قدرت سیستم بینایی انسان نسبت به تشخیص الگوی مخفی شده افزایش یافته است. به عبارت دیگر کیفیت تصویر کاهش می‌یابد. در این مرحله، هم زیر باند انتخابی  $HL_n$  و هم الگو به بلوک‌های بدون همپوشانی  $8 \times 8$  تقسیم می‌شوند. از بلوک‌های  $HL_n$  و الگو، تبدیل SVD گرفته و با استفاده از رابطه (۷) ضرایب زیر باند را جایگزین می‌کنیم. البته باید ضرایب  $HL_n$  را جایی جداگانه نگهداری کرد، زیرا هنگام استخراج به آنها نیاز داریم و به همین دلیل این نوع نهان‌نگاری از نوع نیمه کور است.

$$\sigma_{f_n}^* = \sigma_{f_n} + \alpha \times \sigma_w \quad (7)$$

در رابطه فوق،  $\sigma_{f_n}$  ضرایب ماتریس قطری D هر بلوک زیر باند و  $\sigma_w$  ضرایب ماتریس قطری هر بلوک الگو و  $\alpha$  ضریبی است که قدرت واترمارک را مشخص می‌کند.

بعد از به دست آوردن ضرایب جدید  $\sigma_{f_n}^*$ ، با تبدیل معکوس SVD روی هر بلوک تغییر یافته  $HL_n^*$ ،  $HL_n$  جدید شکل می‌گیرد. در نهایت، با تبدیل موجک معکوس n سطحی با استفاده از  $HL_n^*$  تصویر نهان نگاری شده، به دست می‌آید. در شکل (۵) فرایند درج الگو نشان داده شده است.



شکل (۵): الگوریتم پیشنهادی درج الگو

Fig. (5): Proposed watermark embedding algorithm

### ۲-۴- استخراج الگو

(۱) ابتدا از تصویر نهان‌نگاری شده، تبدیل موجک تا n سطح گرفته می‌شود.

(۲) هم زیر باندی که عمل درج در آن انجام شده  $HL_n^*$  و هم زیر باندی که قبلاً ذخیره شده و هم الگو به بلوک‌های  $8 \times 8$  غیرهمپوشان تقسیم می‌گردد.

(۳) از بلوک‌های حاصله، تبدیل SVD گرفته و از ماتریس‌های D به دست آمده از اعمال تبدیل، با استفاده از رابطه (۸)، ضرایب  $\sigma_w^*$  (ماتریس  $D^*$ ) جدید به دست آورده می‌شود.

(۱۰) رابطه ضریب  $\alpha$  با PSNR را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که برای داشتن PSNR خوب (بیشتر از 40 dB) باید  $\alpha$  را از 0.2 کمتر انتخاب کرد. شکل (۱۱)، رابطه بین فشردگی و NC، شکل (۱۲)، رابطه بین نویز فلفل نمکی و NC شکل (۱۳)، رابطه بین نویز گوسی و NC را نشان می‌دهد.

Table (1): Obtained results from proposed algorithm against various attacks with logo 1 and 2

جدول (۱): نتایج حاصله در برابر حملات مختلف با به کار بردن روش پیشنهادی با الگوی ۱ (NC<sub>1</sub>) و الگوی ۲ (NC<sub>2</sub>)

NC <sub>2</sub>	NC <sub>1</sub>	حمله
0.9792	0.9100	فیلتر گوسین 3x3
0.9978	1	فیلتر میانه
0.9979	0.9983	نویز فلفل نمکی 0.5%
0.9657	0.9968	نویز فلفل نمکی 2%
0.8565	0.7142	نویز فلفل نمکی 7%
0.9273	0.6161	تخریب 25%
0.9912	0.9932	فشردگی سازی QF=5
0.9989	1	فشردگی سازی QF=30
0.7465	0.7374	چرخش 40
0.9959	0.8969	روشنایی 25%
0.9979	0.9881	روشنایی 50%
0.9985	1	تغییر ابعاد 0.5
0.9211	0.8427	تعدیل هیستوگرام
0.9848	0.8906	نویز گوسین 2%
0.9971	0.9966	فیلتر وینر
0.9788	0.9083	فیلتر میانگین 3x3

$$NC = \frac{\sum_{i,j} W(i,j) \cdot W^*(i,j)}{\sqrt{\sum_{i,j} W(i,j)^2 \cdot \sum_{i,j} W^*(i,j)^2}} \quad (11)$$

در رابطه فوق،  $W$  نشان دهنده الگوی اصلی و  $W^*$  نشان دهنده الگوی استخراجی است و NC پارامتری است که نشان دهنده میزان شباهت الگوی اصلی با الگوی استخراجی است. در آزمایش‌ها، از یک تصویر با ابعاد 512x512 و سه الگو با ابعاد 64x64 استفاده شده است. شکل (۷) تصویر میزبان و الگوهای انتخابی برای درج را نشان می‌دهد. شکل (۸) تصویرهای نهان نگاری شده با سه الگوی انتخابی را نشان می‌دهد. در تصویر (۸-الف) که نهان نگاری با الگوی ۱ انجام شده (با توجه به رابطه (۷)) مقدار  $\alpha = 0.113$ ، مقدار PSNR = 48.0514 dB به دست آمده است. در شکل (۸-ب)، نهان نگاری با الگوی ۲ انجام شده و با انتخاب  $\alpha = 0.08$ ، مقدار PSNR = 44.7041 dB و در شکل (۸-ج)، نهان نگاری با الگوی ۳ انجام شده و با  $\alpha = 0.08$ ، مقدار PSNR = 45.0458 dB به دست آمده است.

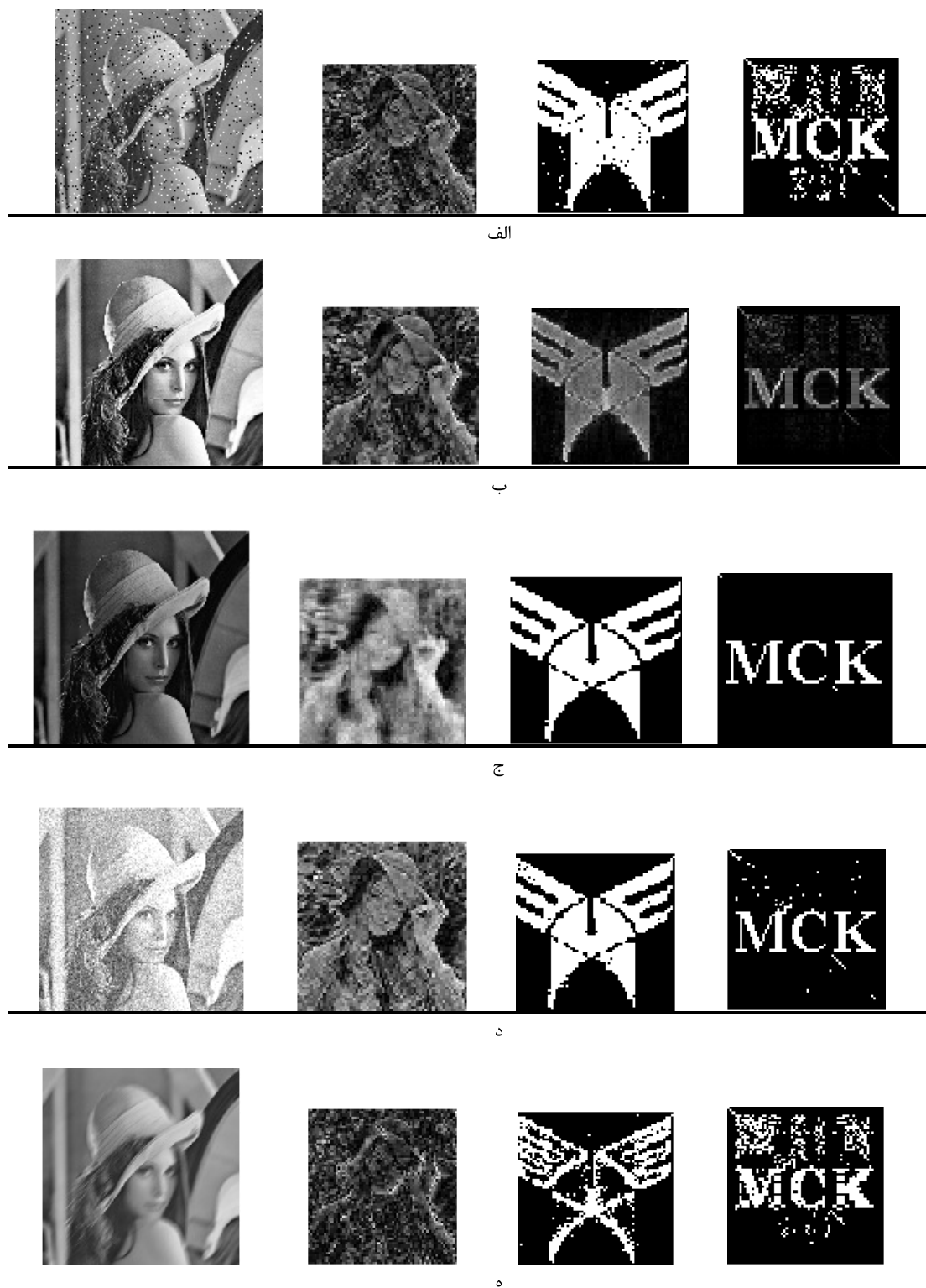


شکل (۷): تصویر میزبان و الگوی به کار رفته  
Fig. (7): Cover image and used logos



شکل (۸): تصاویر نهان نگاری شده: (الف) با الگوی ۱، (ب) با الگوی ۲ و (ج) با الگوی ۳  
Fig. (8): Watermarked images, (a), Logo 1, (b), Logo 2, (c) Logo 3

شکل (۹) الگوی استخراج شده بعد از حمله‌های مختلف را نشان می‌دهد. نتایج شکل (۹) در جدول (۱) آورده شده است. در جدول (۱)، NC<sub>1</sub> مربوط به الگوی ۱ و NC<sub>2</sub> مربوط به الگوی ۲ است. نمودار شکل



شکل (۹): الگوی استخراج شده بعد از حمله، الف: نویز فلفل نمکی 7%، ب: تعدیل هیستوگرام، ج: روشنایی 50%، د: نویز فلفل نمکی 20%، ه: حرکت (مات کردن تصویر)

Fig. (9): Extracted Logo after attacks, (a), Salt and pepper noise 7%, (b), Histogram equalization, (c), Illumination 50%, (d), Salt and pepper noise 20%, (e), Motion.

روشهای تک تبدیلی است. اما از بین تبدیل‌های رایج اینکه از ترکیب چه تبدیل‌هایی استفاده شود، باز از روی نتایج مشخص می‌شود که تفاوت‌هایی وجود دارد. در ادامه برای مقایسه، دو روش جدید به طور خلاصه بیان می‌شود تا بتوان روش پیشنهادی را با آنها ارزیابی کرد.

### ۵-۱-۱- روش ارائه شده در [۱۲]

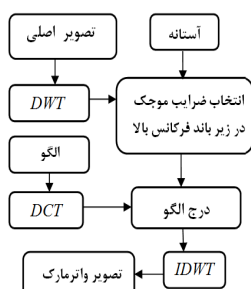
این روش از ترکیب تبدیل DWT و DCT بهره گرفته شده است. فرایند درج بدین صورت است:

### ۵-۱-۱-۱- درج الگو

(۱) از الگو تبدیل DCT گرفته می‌شود.  
 (۲) از تصویر میزبان تبدیل DWT دو بعدی گسسته تا  $L$  سطح گرفته می‌شود. اینکه  $L$  چند باشد بستگی به ابعاد تصویر و الگو دارد. بهترین حالت  $L$  برای درج بالاترین درجه آن است.  
 (۳) زیر باند فرکانس بالا انتخاب شده و به بلوک‌های  $2 \times 2$  تقسیم می‌شود ( $B_k$ ). سپس آنتروپی همه بلوک‌ها محاسبه می‌شود. بلوک‌هایی که آنتروپی آنها بیشتر از یک حد آستانه است (مثل لبه‌ها) مناسب برای درج می‌باشند. بلوک‌های انتخابی  $U_k$  بلوک‌هایی هستند که عمل درج در آنها صورت می‌گیرد.  
 (۴) بعد از انتخاب ضرایب، و با توجه به ضرایب حاصله از اعمال تبدیل DCT بر روی الگو، با استفاده از رابطه (۱۲) تغییرات بر روی ضرایب زیرباند انتخابی انجام می‌شود و در آخر تبدیل موجک معکوس گرفته تا تصویر واترمارک به دست آید.

$$C_k^* = C_k + \alpha \times V_k \quad (12)$$

در رابطه فوق،  $C_k$  نشان دهنده ضرایب موجک اصلی و اولیه،  $V_k$  ضرایب الگو و  $C_k^*$  ضرایب تغییر یافته می‌باشد.

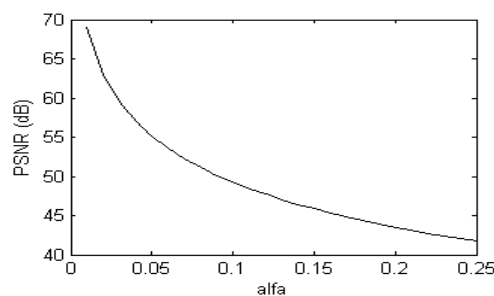


شکل (۱۴): روش درج ارائه شده در [۱۲]

Fig. (14): Presented embedding algorithm in [12]

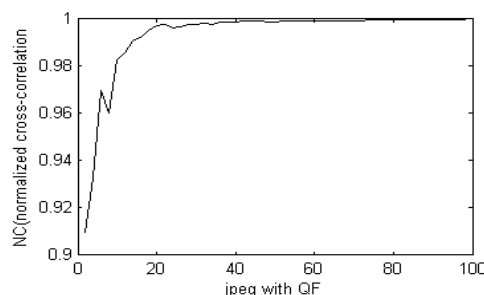
### ۵-۱-۲- استخراج الگو

(۱) بر روی تصویر اولیه و تصویر نهان نگاری شده تبدیل موجک گرفته می‌شود. (تا  $L$  سطح)  
 (۲) زیرباندهای فرکانس بالای تصویر اصلی و نهان نگاری شده انتخاب می‌گردد و به بلوک‌های  $2 \times 2$  شکسته می‌شود. سپس بلوک‌های  $U_k^*$  انتخاب می‌شوند. بلوک‌های  $U_k^*$  از لحاظ مکانی متناظر با  $U_k$  هستند.



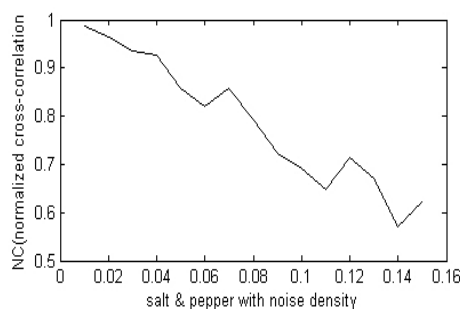
شکل (۱۰): رابطه ضریب  $\alpha$  با PSNR

Fig. (10):  $\alpha$  and PSNR



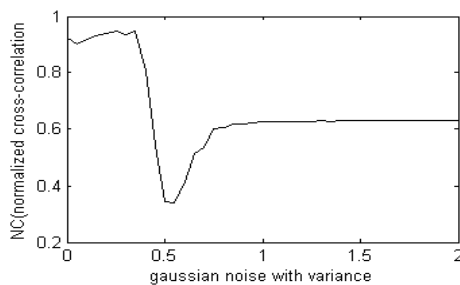
شکل (۱۱): رابطه بین فشردگی سازی و NC

Fig. (11): Compression and NC



شکل (۱۲): رابطه بین نویز فلکل نمکی و NC

Fig. (12): Salt and pepper noise and NC

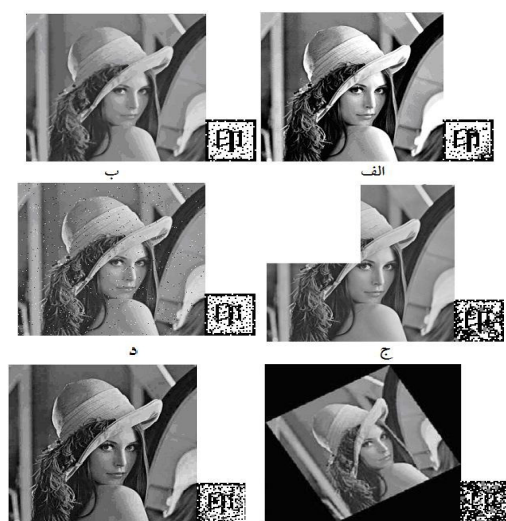


شکل (۱۳): رابطه بین نویز گوسی و NC

Fig. (13): Gaussian noise and NC

### ۵- بررسی و مقایسه

روش پیشنهادی نسبت به اغلب روش‌های سابق که به صورت تک تبدیلی بودند، به مراتب قوی‌تر و پایداری آن در مقابل طیف وسیع‌تری از حملات نشان‌دهنده این است که ترکیب تبدیل‌ها به مراتب قوی‌تر از



شکل (۱۶): الگوی استخراج شده بعد از حمله در روش [۱۲]، الف: ارتقا (تیز کردن)، ب: فیلتر میانه، ج: تخریب ۲۵٪، د: نویز فلغل نمکی ۱٪، ه: چرخش ۳۰، و: فشرده سازی با QF=10

Fig. (16): Extracted logo after attack in [12], (a) sharpening, (b) median filter, (c) destroy 25%, (d) salt and pepper 1%, (e) rotation, (f) compression with QF=10

### ۵-۲- روش ارائه شده در [۱۵]

این روش مبتنی بر حوزه‌های DCT-SVD است. از شیوه کوانتیزاسیون برای درج استفاده شده به همین علت روش آنها از نوع کور می‌باشد. روش آنها بدین صورت است:

### ۵-۲-۱- درج الگو

(۱) تصویر میزبان Y به بلوک‌های 8x8 جداگانه تقسیم می‌شود و سپس از هر بلوک DCT گرفته می‌شود.

(۲) با استفاده از رابطه‌های (۱۳) و (۱۴)، از هر بلوک تبدیل گرفته شده گام کوانتیزاسیون  $Q_i$  محاسبه می‌شود.

$$S_i = m_i \times (\delta_i)^{0.005} \quad (13)$$

$$Q_i = \left( Q_m + (Q_M - Q_m) \times \frac{S_i - S_{\min}}{S_{\max} - S_{\min}} \right) \times 0.09 \quad (14)$$

که  $m_i$  و  $\delta_i$  مقدار میانگین و انحراف استاندارد هر بلوک در حوزه DCT هستند. پارامترهای  $Q_m$  و  $Q_M$  نشان‌دهنده مقدار حداکثر و حداقل گام‌های کوانتیزاسیون هستند.  $S_{\min}$  و  $S_{\max}$  مقدار حداکثر و حداقل هر بلوک در حوزه DCT است. این پارامترهای کوانتیزاسیون به عنوان کلید مخفی برای استخراج الگو ذخیره می‌شوند.

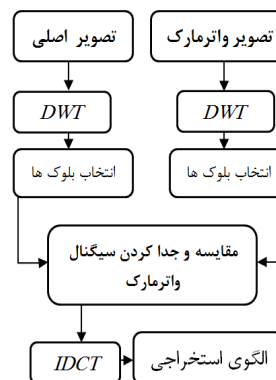
(۳) تشکیل SVD روی هر بلوک B برای به دست آوردن  $(B = UDV^T)$  U, D, V

(۴) درج الگو به شکل زیر انجام می‌شود: فرض کنید  $S_i$  باشد بزرگترین مقدار ویژه از هر بلوک 8x8، DCT گرفته شده باشد و  $w(i, j)$  تصویر الگو، آنگاه با استفاده از رابطه (۱۵) عمل درج انجام می‌شود.

(۳) محاسبه آنروپی  $H(U_k^*)$  و  $H(U_k)$  و به دست آوردن اختلاف آنها  $H(U_k) - H(U_k^*)$ . اگر مقدار این اختلاف بیشتر از مقدار آستانه بود نشان دهنده یک و در غیر این صورت صفر است.

(۴) تبدیل معکوس DCT

شکل (۱۵) فرایند استخراج الگو را نشان می‌دهد.



شکل (۱۵): فرایند استخراج الگو در [۱۲]

Fig. (15): Presented extraction algorithm in [12]

### ۵-۱-۳- نتایج روش ارائه شده در [۱۲]

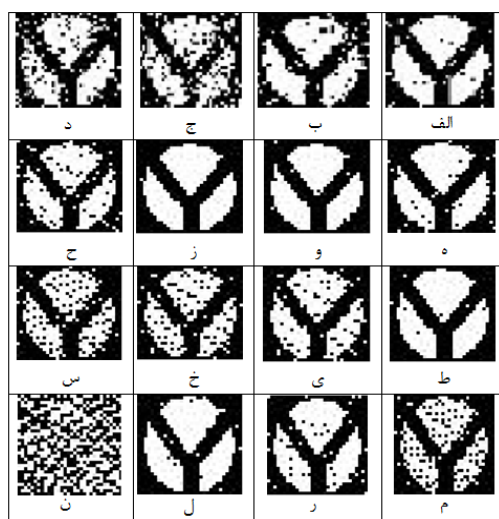
در روش [۱۲] از تصویر با ابعاد 256x256 و الگوی 32x32 استفاده شده است. جدول (۲) و شکل (۱۶) نتایج روش ارائه شده در [۱۲] نسبت به شش حمله را نشان می‌دهد. در این روش PSNR=50.0285 dB به دست آمده است.

Table (2): Reported results in [12]

جدول (۲): نتایج پایداری گزارش شده در [۱۲]

حمله	PSNR dB	NC
فیلتر میانه	35.5801	0.9132
ارتقا	32.0763	0.8962
نویز فلغل نمکی 1%	28.0851	0.8643
تخریب 25%	27.3359	0.7089
فشرده سازی QF=10	31.7749	0.8518
چرخش 20	21.5003	0.5043





شکل (۱۸): الگوی استخراج شده در روش [۱۵] الف تا د: نویز فلفل نمکی به ترتیب با چگالی‌های ۰.۱٪، ۰.۲٪، ۰.۳٪، ۰.۴٪، ه تا ز: به ترتیب با فشردگی سازی ۳۰ (۷۰٪ فشردگی)، ۴۰ (۶۰٪ فشردگی)، ۶۰ (۶۰٪ فشردگی)، (۴۰٪ فشردگی)، ح: فیلتر پایین گذر، ط: تغییر اندازه ۰.۵، ی تا م: به ترتیب چرخش با زاویه ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ن: رنگ پاشی، ز: فیلتر میانه، ل: رنگ پاشی، ن: تخریب ۵۰٪

Fig. (18): Extracted logo in [15], (a) through (d) Salt and pepper with intensity 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, (e) through (h) Compression QF=30, QF=40, QF=60, (g) Lowpass filter, (i) Rescale 0.5, (m) through (p) Rotation 10, 20, 40 and 60 degree, (q) Median filter

### ۳-۵- نتایج و بحث

با توجه به نتایج روش‌های فوق و مقایسه با روش پیشنهادی، عملکرد روش پیشنهادی نسبت به [۱۲] بهتر و مؤثرتر بوده و بهبود نتایج واضح است. در مقایسه با روش [۱۵] نیز در اغلب حملات نتیجه بهتر بوده اما نسبت به الگوهای مختلف و تصویرهای میزبان متفاوت استفاده شده، نتایج متفاوت است. با مقایسه جداول (۱) و (۳)، نتایج حاصله، بهبود قابل توجهی در مقاومت در برابر حملات نویزی و فشردگی حاصل شده است. برای مثال در روش پیشنهادی با حمله فشردگی سازی با ۹۵٪ فشردگی، NC=0.9932 به دست آمده ولی در روش [۱۵] با ۸۰٪ فشردگی مقدار NC=0.6504 به دست آمده است. یعنی با شدت حمله بیشتر در روش پیشنهادی، نتیجه به مراتب نسبت به حمله ضعیف‌تر در [۱۵]، بهتر بوده است. برای حملات نویزی نیز نتایج بهبود قابل توجهی پیدا کرده است. برای مثال در نویز فلفل نمکی با اینکه حمله با شدت ده برابر بیشتر (۲٪ و ۰.۲٪) روی تصویر نهان-نگاری شده انجام شده، اما باز نتیجه به مراتب بهتر از [۱۵] است. بقیه حمله‌ها نیز بهبود نتایج مشخص است به غیر از تخریب و چرخش که نتایج کاهش ناچیزی در مقایسه با [۱۵] پیدا کرده است.

(۱۵)

$$S_i^w = \begin{cases} S_i - (S_i \bmod Q) + 3Q/4 & \text{if } W = 1 \text{ and } (S_i \bmod Q) \geq Q/4 \\ S_i - (S_i \bmod Q) + Q/4 & \text{if } W = 1 \text{ and } (S_i \bmod Q) < Q/4 \\ S_i + Q_i/2 - (S_i \bmod Q) + 3Q/4 & \text{if } W = 0 \text{ and } (S_i \bmod Q) > 3Q/4 \\ S_i - (S_i \bmod Q) + Q/4 & \text{if } W = 0 \text{ and } (S_i \bmod Q) \leq 3Q/4 \end{cases}$$

(۵) روی  $S_i^w$  ها، SVD معکوس گرفته تا  $B^*$  حاصل شود و سپس روی آن، DCT معکوس گرفته می‌شود تا  $Y^*$  که همان تصویر نهان نگاری شده است، به دست آید.

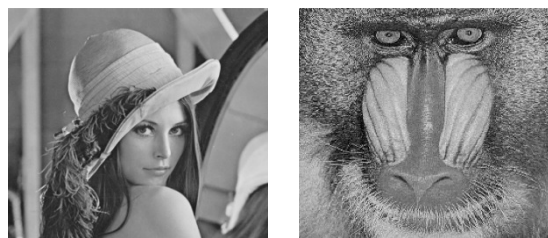
### ۵-۲-۲- استخراج الگو

در فرایند استخراج الگو،  $Y^*$  به بلوک‌های  $8 \times 8$  تقسیم‌بندی می‌شود و DCT گرفته می‌شود. سپس SVD گرفته و با انتخاب بزرگترین ضریب هر بلوک که کوانتیزه شده و رابطه (۱۶)، الگو را استخراج می‌کنیم.

$$W_i = \begin{cases} 1 & (S_i^w \bmod Q_i) \geq Q_i/2 \\ 0 & (S_i^w \bmod Q_i) < Q_i/2 \end{cases} \quad (۱۶)$$

### ۵-۲-۳- نتایج روش ارائه شده در [۱۵]

روش فوق با دو تصویر میزبان لنا و بابون شکل (۱۷) با ابعاد  $512 \times 512$  الگوی  $32 \times 32$  و مقدار حداقل و حداکثر گام کوانتیزاسیون ۴۰ و ۶۸ مورد بررسی قرار گرفته است. شکل (۱۸) الگوی استخراج‌شده را بعد از حمله‌های مختلف روی تصویر واترمارک شده لنا نشان می‌دهد. در جدول (۳)، پارامتر NC علاوه بر لنا برای بابون هم آورده شده است.



لنا بابون

شکل (۱۷): تصاویر میزبان در [۱۵]  
Fig. (17): Cover image in [15]

Table (3): Reported results in [15]  
جدول (۳): نتایج روش ارائه شده در [۱۵]

NC تصویر بابون	NC تصویر لنا	حمله
0.6438	0.9580	فیلتر میانه 3x3
0.9336	0.9823	فیلتر پایین گذر
0.9712	0.9757	نویز فلفل نمکی با چگالی نویز 0.1%
0.9270	0.9292	نویز فلفل نمکی با چگالی نویز 0.2%
0.900	0.8805	نویز فلفل نمکی با چگالی نویز 0.3%
0.6792	0.6504	فشرده سازی با فشردگی QF=20
0.9425	0.9646	فشرده سازی با فشردگی QF=30
0.9934	1.0000	فشرده سازی با فشردگی QF=40
0.7279	0.8208	چرخش 30 درجه
0.7174	0.7978	چرخش 40 درجه
0.7389	0.8363	چرخش 60 درجه
0.7699	0.9801	تغییر ابعاد 0.5
0.4690	0.4425	تعدیل هیستوگرام
0.4823	0.5522	تنظیم شدت روشنایی
0.4845	0.5819	تخریب 50%

#### ۶- نتیجه گیری

ملاحظه کرد. علاوه بر ویژگی‌های فوق، امکان استفاده از الگوهای غیر باینری نیز فراهم شده که این مزیت هم از ویژگی‌های مهم روش پیشنهادی می‌باشد.

تا چندی پیش در نهان‌نگاری در حوزه تبدیل از یکی از تبدیل‌ها استفاده می‌شد که نتیجه آن پایداری در مقابل بعضی از حمله‌ها بود و نه اکثر حمله‌ها. اخیراً با ترکیب تبدیل‌های رایج، نتایج بهتری حاصل شده است. زیرا با انتخاب بجای تبدیل‌ها با استفاده از ترکیب تبدیل‌ها، می‌توان از اکثر خواص مستقل تبدیل‌ها در نهان‌نگاری، همزمان با هم استفاده کرد. در روش پیشنهادی در این مقاله از ترکیب DWT و SVD بهره گرفته شده است. تبدیل موجک ذاتاً در مقابل چرخش ناپایدار است ولی تبدیل SVD در مقابل چرخش پایداری بهتری نشان داده است. از طرفی تبدیل موجک در مقابل حملات نویزی و فشرده‌سازی پایداری خوبی دارد و با سیستم بینایی انسان هم سازگار است. حال با ترکیب این دو تبدیل، با توجه به نتایج آزمایش‌ها می‌توان مقاومت الگوی نهان شده در مقابل حمله‌های مختلف را به طور محسوس در مقایسه با روش‌های تک تبدیلی یا ترکیب دیگر تبدیل‌ها،

#### پی‌نوشت:

- 1- Encryption
- 2- Watermarking
- 3- Embedding
- 4- Quantization Index Modulation
- 5- Least Significant Bit
- 6- Discrete Fourier Transform
- 7- Discrete Cosine Transform
- 8- Discrete Wavelet Transform
- 9- Singular Value Decomposition
- 10- Complex hadamard transform

#### References

- [1] C. Miller, Bloom, "Digital watermarking", Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco, CA, 2002.
- [2] P. Delp, "Digital watermarking: Algorithms and applications", IEEE Signal Proc. Mag., Vol.18, pp.33-46, July 2001.
- [3] A. Eskicioglu, "An adaptive method for image recovery in the DFT domain", J. of Mull., Vol.1, No.6, pp.54-57, Sep. 2006.
- [4] W.C. Chu, "DCT based image watermarking using sub sampling", IEEE Trans. Multimedia, Vol.5, pp.34-38, 2003.
- [5] A. Piva, "DCT based watermark recovering without resorting to the uncrupted original image", Proc. of the IEEE Int. Conf. on Image. Proc., Vol.1, pp.520-523, 1997.
- [6] J.F. Doherty Wang, R.F. Dyck Van, "A wavelet based watermarking algorithm for ownership verification of digital images", IEEE Trans. Image. Process, No.2, pp.77-88. Feb. 2002.
- [7] C. Chin-Chen, T. Piyu, Lin Chia-Chen, "SVD based digital image watermarking scheme", Pattern Recognit Lett. Vol.26, pp.1577-1586, 2005.
- [8] K. Chung, "On SVD-based watermarking algorithm", App. Math. and Comp., Vol.188, No.1, PP.54-57, 2007.

- [9] K. Anusudha, A. Sangeetha, "Digital watermarking of satellite images using secured spread spectrum technique", *Inter. J. of Rec. Tre. in Engi.*, Vol.1, pp.597-599, May 2009.
- [10] C. Brian, "Quantization index modulation: A class of provably good methods for digital watermarking and information embedding", *IEEE Trans. Inf. Theory*, Vol.47, No.4, pp.1423-1443, May 2001.
- [11] W. Ming-Shi, C. Wei-Che, "A hybrid DWT-SVD copyright protection scheme based on k-means clustering and visual cryptography", *Comp. Stand. and Inter.*, Vol.31, pp.757-762, 2009.
- [12] A. Jiansheng, G. Sukang, "A digital watermarking algorithm based on DCT and DWT", *Proc. of Int. Sym. on Web Info. Sys. and App. (WISA'09) Nanch.*, P.R. China, pp.104-107, May 2009.
- [13] G. Gaurav, A. Himanshu, "Digital image watermarking using two dimensional discrete wavelet transform, discrete cosine transform and fast fourier transform", *Int. J. of Rec. Tren. in Engi.*, Vol.1, No.1, pp.616-618, May 2009.
- [14] G. Carvajal, "Scaling factor for RGB images to steganography applications", *J. of Vec. Rel.*, Vol.3, pp.55-65, 2009.
- [15] A. Abdulfatah, X. Sun, H. Yang, "Quantization based robust image watermarking in DCT-SVD domain", *Res. J. of Info. Tech.*, Vol.1, pp.107-114, 2009.
- [16] B.J. Falkowski, Lim Lip-San, "Image watermarking using hadamard transforms", *Electron Lett.*, Vol.363, pp.211-213, 2000.

