

## نشانه‌گذاری نیمه‌کور تصاویر با استفاده از SVD در حوزه تبدیل موجک گسسته

مرتضی مخلوقی<sup>■</sup>، حبیب‌الله دانیالی<sup>\*\*</sup> و فردین اخلاقیان<sup>\*\*\*</sup>

<sup>\*</sup> گروه کامپیوتر، دانشکده مهندسی، دانشگاه کردستان

<sup>\*\*</sup> گروه مخابرات، دانشکده مهندسی برق و الکترونیک، دانشگاه صنعتی شیراز

<sup>\*\*\*</sup> گروه کامپیوتر، دانشکده مهندسی، دانشگاه کردستان

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۲/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۰۷/۲۲

### چکیده

با پیشرفت سریع تکنولوژی ارتباطات و گسترش اینترنت و افزایش چشمگیر جعل و کپی غیر مجاز داده‌ها، روز به روز بر ارزش نشانه‌گذاری افزوده می‌شود. در این مقاله یک روش جدید نیمه‌کور نشانه‌گذاری با استفاده از تبدیل مقدار منحصر به فرد تجزیه (Singular Value Decomposition) در حوزه تبدیل موجک گسسته برای حفاظت از حق مالکیت ارائه شده است. در روش پیشنهادی ابتدا به تصویر اصلی  $K$  مرحله تبدیل موجک گسسته اعمال می‌شود پایین‌ترین زیر باند فرکانسی آن به عنوان تصویر مرجع انتخاب می‌گردد. سپس با اعمال یک مرحله تبدیل موجک گسسته به تصویر مرجع و تصویر نشانه، مقادیر منحصربه فرد تجزیه زیر باندهای فرکانسی تصویر تبدیل یافته نشانه در مقادیر منحصربه فرد تجزیه زیر باند های متناظر تصویر تبدیل یافته مرجع تعبیه می‌شود. از آنجا که در این روش برای بازیابی نشانه به تصویر مرجع نیاز می‌باشد و نیازی به تصویر اصلی نیست لذا یک روش نیمه کور (Sem-Blind) نامیده می‌شود. مقاومت روش پیشنهادی در برابر هجومهای مختلف مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصله نشان می‌دهد که روش پیشنهادی در برابر هجومهای مختلف بسیار مقاوم تر از کارهای مشابه بوده و درعین حال تصویر نشانه‌گذاری شده از شفافیت بیشتری برخوردار است.

کلید واژه- تبدیل موجک گسسته، مقادیر منحصر به فرد تجزیه، نشانه‌گذاری تصویر، نشانه‌گذاری نیمه‌کور

### ۱- مقدمه

در سالهای اخیر همزمان با توسعه رقمی‌سازی اطلاعات، رشد و فراگیر شدن اینترنت و به‌وجود آمدن رسانه‌های ذخیره‌سازی با ظرفیت بالا، کپی‌برداری و توزیع غیرمجاز داده‌ها نیز روز به روز افزایش می‌یابد، لذا حفاظت از حق مالکیت نقش مهمی در صنعت توزیع داده ایفا می‌کند. نشانه‌گذاری رقمی به پروسه درج یک نشانه مانند تصویر، متن، صوت در داخل داده میزبان به صورت غیر قابل مشاهده اطلاق می‌شود. از کاربردهای مهم نشانه گذاری می‌توان به حفاظت از حق مالکیت، اثبات سندیت داده، کنترل و جلوگیری از کپی برداری غیرمجاز، امکان پیگیری توزیع غیر مجاز داده اشاره کرد. یک سیستم نشانه‌گذاری خوب برای کاربرد حفاظت از حق مالکیت، معیارهای مختلفی دارد که رسیدن و یا تقویت یکی از این معیارها ممکن است باعث تضعیف معیارهای دیگر شود، که از این معیارها می‌توان به پایداری و شفافیت اشاره نمود.

یک سیستم نشانه‌گذاری مقاوم باید در برابر هجومهای معمول پایداری لازم را داشته باشد. در این مقاله از نشانه

دهد. در این روش تصاویر نشانه‌گذاری شده شفافیت بسیار خوبی دارند.

در سال‌های اخیر تبدیل مقدار منحصر به فرد تجزیه (SVD) کاربرد های زیادی در پردازش تصویر و نشانه‌گذاری پیدا کرده است. در زمینه نشانه‌گذاری، SVD ابتدا در حوزه مکان به کار برده شد [5]. در این روش، نشانه در داخل مقادیر منحصر به فرد (Singular values) تصویر اصلی قرار داده می‌شود. روش ارائه شده قابلیت تطبیق کافی با تصاویر مختلف را نداشت و در نتیجه نمی‌توانست استحکام و شفافیت لازم را برای تصاویر مختلف حفظ کند.

لی و همکارانش [6] یک روش ترکیبی با استفاده از تبدیل موجک گسسته و SVD ارائه کردند که در آن ویژگی‌های سیستم بینایی انسان در نظر گرفته شده بود، بعد از یک مرحله تجزیه تصویر میزبان به کمک تبدیل موجک گسسته، SVD را به هر چهار باند اعمال نموده و مقادیر منحصر به فرد تجزیه تصویر نشانه را در هر چهار باند تعبیه می‌کردند، مقدار این تعبیه بر اساس ویژگی‌های بینایی انسان مشخص می‌شود. روش مذکور دارای شفافیت خوبی بوده ولی پایداری لازم در برابر هجوم‌های مختلف را نداشت.

در [7] یک روش جدید نشانه‌گذاری بر پایه تبدیل موجک گسسته و SVD ارائه شده است. در این روش تصویر اصلی با استفاده از تبدیل موجک گسسته تجزیه شده و مقادیر منحصر به فرد تصویر نشانه در داخل مقادیر منحصر به فرد زیرباندهای فرکانسی تصویر نشانه جایگذاری می‌شود. از آنجا که مقادیر منحصر به فرد تصویر نشانه در مقادیر منحصر به فرد زیرباندهای فرکانسی مختلف تعبیه می‌شود، روش مذکور پایداری خوبی در برابر حملات مختلف هندسی و غیر هندسی داشت. با این حال، تصاویر نشانه‌گذاری شده حاصل از اعمال این روش شفافیت خوبی ندارند.

یک روش ترکیبی با استفاده از تبدیل DCT و SVD در [8] ارائه شده است. در این روش تصویر اصلی و نشانه با استفاده از تبدیل کسینوسی گسسته تجزیه شده و ضرایب تبدیل کسینوسی گسسته تصویر اصلی با استفاده از یک ترتیب زیگزاگ به چهار باند تقسیم می‌شود. در ادامه، تبدیل SVD به چهار باند بدست آمده از تصویر اصلی و زیرباند تبدیل کسینوسی گسسته تصویر نشانه اعمال شده و مقادیر منحصر به فرد تصویر نشانه در داخل مقادیر منحصر به فرد زیرباندهای فرکانسی تصویر اصلی قرار داده می‌شود. هرچند این روش دارای شفافیت

گذاری تصاویر برای اثبات مالکیت استفاده شده است، بنابراین سیستم نشانه‌گذاری پیشنهادی باید پایداری کافی در برابر پردازش‌های متداول تصویر مانند فیلترهای میانگین و میانه، فشرده‌سازی، اضافه کردن نویز و حمله‌های ژئومتریک مانند تغییر اندازه، چیدن تصویر و چرخش را داشته باشد. علاوه بر این نشانه باید غیر قابل مشاهده بوده و شفافیت تصویر اصلی را تحت تاثیر قرار ندهد.

درج نشانه در داده‌های رقمی را می‌توان در حوزه مکان و در حوزه فرکانس انجام داد [1,2]. روش‌های نشانه‌گذاری در حوزه مکان به طور مستقیم به دستکاری و تغییر پیکسل‌های تصویر می‌پردازند. در روش‌های نشانه‌گذاری در حوزه فرکانس با تغییر مقادیر ضرایب تصویر تبدیل یافته بعد از اعمال تبدیلاتی مانند تبدیل کسینوسی گسسته (DCT)، تبدیل فوریه گسسته (DFT) و یا تبدیل موجک گسسته (DWT) بر روی تصویر میزبان، به درج نشانه در تصویر تبدیل یافته می‌پردازند. روش‌های نشانه‌گذاری در این حوزه پیچیده‌تر از روش‌های نشانه‌گذاری در حوزه مکان بوده و پایداری بیشتری در برابر هجوم‌های مختلف دارند. تبدیل موجک گسسته از دهه ۹۰ به طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته و بیشتر از تبدیل فوریه و کسینوسی گسسته مورد توجه است. در این مقاله برای دستیابی به پایداری بیشتر از تبدیل موجک گسسته استفاده شده است.

در [3] یک روش نشانه‌گذاری مضاعف در حوزه تبدیل موجک گسسته ارائه شده است. در این روش تصویر اصلی با استفاده از تبدیل موجک گسسته تجزیه شده و برای رسیدن به پایداری بیشتر، نشانه به صورت مضاعف در زیر باندهای فرکانس پایین و بالای تصویر تجزیه شده تعبیه شده است. اگر چه این روش به علت تعبیه مضاعف پایداری خوبی در برابر هجوم‌های مختلف دارد ولی شفافیت روش ارائه شده مناسب نمی‌باشد.

لین و همکارانش [4] یک روش نشانه‌گذاری جدید بر پایه درخت تجزیه در حوزه تبدیل موجک گسسته ارائه کردند. در روش پیشنهادی تعبیه بیت ۰ یا ۱ بر اساس مقایسه تفاوت ریاضی و بردار فاصله درخت تجزیه صورت می‌گیرد. در این روش اعوجاج تصویر نشانه‌گذاری شده با کوانتیزه کردن ضرایب کوچک درخت تجزیه کاهش می‌یابد. روش ارائه شده پایداری خوبی در مقابل حملات فیلترینگ تصویر نشان داده است ولی در برابر حملات هندسی پایداری خوبی ارائه نمی‌-

## ۲- معرفی SVD

تبدیل SVD در سال ۱۸۷۳ توسط بلترامی (Beltrami) برای حل مشکلات ماتریس مربعی اختراع شد. اما محاسبه و کاربرد عملی آن بوسیله الگوریتمی که در سال ۱۹۶۵ توسط جین گلوب (Gene Golub) ارائه گردید ممکن شد [۱۰]. در سال‌های اخیر SVD به عنوان یک ابزار موثر در نشانه‌گذاری [۱۱، ۱۲] و در سایر زمینه‌های پردازش سیگنال [۱۳، ۱۴] مورد استفاده قرار گرفته است.

هر تصویر یک آرایه غیر منفی بوده که می‌تواند به عنوان یک ماتریس در نظر گرفته شود. فرض کنید  $A$  یک تصویر با اندازه  $M \times N$  باشد، SVD تصویر  $A$  برابر است با:

$$A = USV^T \quad (1)$$

که  $U_{M \times M}$  و  $V_{N \times N}$  ماتریس‌های متعامد و  $S_{M \times N}$  ماتریس قطری بوده که به درایه‌های آن مقادیر منحصر به فرد تجزیه ماتریس  $A$  می‌گویند و داریم:

$$U^T \cdot U = I \quad V^T \cdot V = I \quad (2)$$

$$S = \text{diag}(\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots) \quad (3)$$

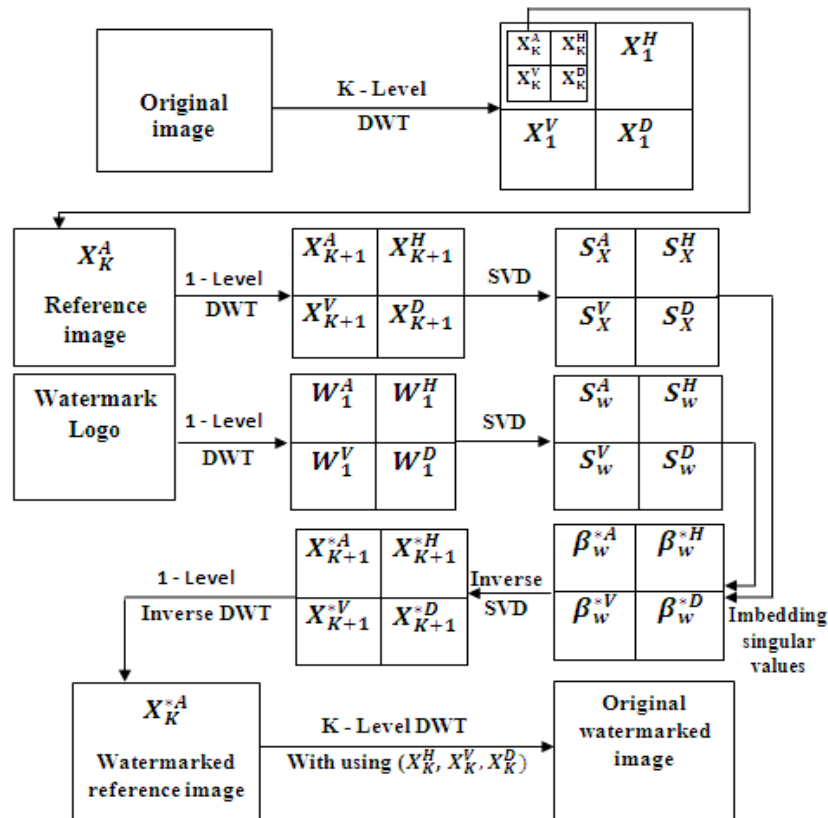
$$A = \beta_1 U_1 V_1 + \beta_2 U_2 V_2 + \beta_3 U_3 V_3 \dots + \beta_r U_r V_r, \quad r = \min(M, N) \quad (4)$$

استفاده از SVD در پردازش تصویر مزایای زیادی دارد. اولاً اندازه تصویر و ماتریس‌های SVD می‌تواند مربعی یا مستطیلی باشد. ثانياً مقادیر منحصر به فرد کمتر تحت تاثیر عملیات متعارف پردازش تصویر قرار می‌گیرند و علاوه بر آنکه مقدار زیادی از انرژی تصویر را حفظ می‌کنند در برابر حملات معمول اعمال شده به تصویر نیز مقاومند. ثالثاً مقادیر منحصر به فرد شامل جزئیات ذاتی و جبری یک تصویر می‌باشد [۹].

خوبی نمی‌باشد ولی به علت تعبیه چندگانه مقادیر منحصر به فرد تصویر نشانه در مقادیر منحصر به فرد زیرباندهای فرکانسی تصویر میزبان، پایداری خوبی در برابر هجومهای مختلف دارد. در کار اخیر که توسط باتنگر (Bhatnagar) و رامان (Raman) صورت گرفته است [۹]، ابتدا از تصویر اصلی  $n$  مرحله تبدیل موجک گرفته می‌شود سپس کتراست جهت دار (Directive contrast) برای تمامی زیرباندهای فرکانسی تصویر اصلی محاسبه شده و ضرایب تبدیل موجکی که کتراست جهت دار آن‌ها از آستانه‌ای که قبلاً مشخص شده پایین‌تر باشند مقدار صفر می‌گیرند و سپس با اعمال تبدیل موجک معکوس تصویر مرجع بدست می‌آید. مقادیر منحصر به فرد تجزیه تصویر نشانه در داخل مقادیر منحصر به فرد تجزیه تصویر مرجع تعبیه می‌شود، این روش یک روش نیمه کور می‌باشد.

در این مقاله یک روش جدید نشانه‌گذاری بر پایه تبدیل موجک گسسته و SVD ارائه شده است. ابتدا از تصویر اصلی  $K$  مرحله تبدیل موجک گسسته گرفته شده و پایین‌ترین زیرباند فرکانسی آن به عنوان تصویر مرجع انتخاب شده است. سپس از تصویر مرجع و تصویر نشانه یک مرحله تبدیل موجک گسسته گرفته شده و مقادیر منحصر به فرد تمامی زیرباندهای فرکانسی در هر دو تصویر محاسبه می‌گردد و مقادیر منحصر به فرد هر زیرباند فرکانسی تصویر نشانه در مقادیر منحصر به فرد زیرباند فرکانسی متناظر آن در تصویر مرجع تعبیه می‌شود.

ساختار باقیمانده این مقاله بدین صورت می‌باشد: معرفی مختصر تبدیل SVD در بخش دوم ارائه می‌گردد. بخش سوم به تشریح الگوریتم پیشنهادی می‌پردازد. نتایج شبیه‌سازی‌ها و تحلیل‌های انجام شده در بخش چهارم و نتیجه‌گیری در بخش آخر ارائه می‌گردد.



شکل ۱: نمودار الگوریتم نشانه‌گذاری پیشنهادی.

اعمال شده و تبدیل SVD بر زیر باندهای فرکانسی تصویر مرجع و تصویر مرجع نشانه‌گذاری شده انجام می‌گیرد. سرانجام با تفریق مقادیر منحصر به فرد زیرباندهای فرکانسی تصویر مرجع اصلی از مقادیر منحصر به فرد زیرباندهای فرکانسی متناظر تصویر مرجع نشانه‌گذاری شده، مقادیر منحصر به فرد زیرباندهای فرکانسی تصویر مرجع نشانه‌گذاری شده بدست آورده می‌شود. از آنجا که در این روش به تصویر مرجع در مرحله استخراج نیاز می‌باشد و به تصویر اصلی نیاز نیست، لذا یک روش نیمه‌کور محسوب می‌شود. فرآیند جایگذاری و استخراج نشانه‌گذاری شده در دو زیر بخش بعدی تشریح می‌گردد.

### ۳-۱- فرآیند جایگذاری نشانه

بعد از دریافت تصویر اصلی  $X_{M \times N}$  و تصویر خاکستری نشانه  $W_{M1 \times N1}$  به عنوان ورودی مراحل زیر برای جایگذاری تصویر نشانه اعمال می‌شوند.

مرحله اول: از تصویر اصلی  $k$  مرحله تبدیل موجک گسسته گرفته می‌شود تصویر تبدیل یافته با  $X_l^\theta$  مشخص می‌گردد که  $1 \leq l \leq k$  و  $\theta \in \{A, H, V, D\}$  می‌باشد.

مزیت اصلی استفاده از SVD در نشانه‌گذاری، پایدار بودن مقادیر منحصر به فرد تصویر نشانه‌گذاری شده و تصویر نشانه تعبیه شده در برابر هجوم‌های مختلف می‌باشد.

### ۳- روش پیشنهادی

شمای کلی روش پیشنهادی در شکل ۱ نشان داده شده است. ابتدا از تصویر اصلی  $K$  مرحله تبدیل موجک گسسته گرفته شده و پایین ترین زیرباند فرکانسی تصویر تبدیل یافته به عنوان تصویر مرجع انتخاب می‌گردد. سپس، بر روی تصویر مرجع و تصویر خاکستری نشانه یک مرحله تبدیل موجک گسسته اعمال می‌شود. بعد از اعمال تبدیل SVD بر روی همه زیرباندهای فرکانسی تصویر نشانه و تصویر مرجع، مقادیر منحصر به فرد هر زیرباند فرکانسی تصویر نشانه در مقادیر منحصر به فرد زیرباند فرکانسی متناظر آن در تصویر مرجع تعبیه می‌گردد. در مرحله استخراج نیز همانند مرحله تعبیه، از تصویر نشانه‌گذاری شده  $K$  مرحله تبدیل موجک گسسته گرفته شده و زیرباند فرکانس پایین به عنوان تصویر مرجع نشانه‌گذاری انتخاب می‌گردد. بر روی تصویر مرجع اصلی و تصویر مرجع نشانه‌گذاری شده یک مرحله تبدیل موجک گسسته

صورت زیر است:

مرحله اول: از تصویر نشانه‌گذاری شده،  $k$  مرحله تبدیل موجک گسسته گرفته می‌شود و پایین‌ترین زیر باندها فرکانسی آن به عنوان تصویر مرجع نشانه‌گذاری شده  $X_1^{*A}$  استخراج می‌گردد.

مرحله دوم: از تصویر مرجع نشانه‌گذاری شده و تصویر مرجع اصلی یک مرحله تبدیل موجک گسسته گرفته می‌شود که به ترتیب با  $X_{k+1}^*$  و  $X_{k+1}^\theta$  نشان داده می‌شود.  $\theta \in \{A, H, V, D\}$

مرحله سوم: تبدیل SVD به تمامی زیرباندهای فرکانسی تصویر مرجع نشانه‌گذاری شده و تصویر مرجع اصلی اعمال می‌گردد:

$$X_{k+1}^{*\theta} = U_x^{*\theta} S_x^\theta (V_x^{*\theta})^T \quad (9)$$

$$X_{k+1}^\theta = U_x^\theta S_x^\theta (V_x^\theta)^T \quad (10)$$

که  $\theta \in \{A, H, V, D\}$  است.

مرحله چهارم: مقادیر منحصر به فرد از تمامی زیرباندهای فرکانسی استخراج می‌شود:

$$\beta_{wi}^{ext\theta} = (\beta_i^{*\theta} - \beta_i^\theta) / \alpha_\theta \quad (11)$$

مرحله پنجم: زیرباندهای فرکانسی نشانه به کمک ماتریس مقادیر منحصر به فرد تجزیه بدست آورده می‌شود:

$$W_1^{ext\theta} = U_w^\theta S_w^{ext\theta} (V_w^\theta)^T \quad (12)$$

مرحله ششم: برای بدست آوردن تصویر نشانه، از زیرباندهای فرکانسی که در مرحله قبل به دست آمده یک مرحله تبدیل موجک معکوس گرفته می‌شود.

پایین‌ترین زیرباند فرکانسی به عنوان تصویر مرجع انتخاب می‌گردد که با  $X_k^A$  مشخص شده است.

مرحله دوم: از تصویر نشانه و تصویر مرجع یک مرحله تبدیل موجک گسسته گرفته می‌شود که به ترتیب با  $W_1^\theta$  و  $X_{k+1}^\theta$  نشان داده می‌شود.  $\theta \in \{A, H, V, D\}$

مرحله سوم: تبدیل SVD بطور جداگانه به تمامی زیرباندهای فرکانسی تصویر نشانه و تصویر مرجع اعمال می‌گردد.

$$X_{k+1}^\theta = U_x^\theta S_x^\theta (V_x^\theta)^T \quad (5)$$

$$W_1^\theta = U_w^\theta S_w^\theta (V_w^\theta)^T \quad (6)$$

که  $\beta_{wi}^\theta$  و  $\beta_i^\theta$  به ترتیب مقادیر منحصر به فرد  $S_w^\theta$  و  $S_x^\theta$  بوده و  $\theta \in \{A, H, V, D\}$  و  $i = 1, \dots, r$  می‌باشد.

مرحله چهارم: مقادیر منحصر به فرد زیرباندهای فرکانسی تصویر نشانه در مقادیر منحصر به فرد زیرباندهای فرکانسی متناظر تصویر مرجع تعبیه می‌گردد:

$$\beta_i^{*\theta} = \beta_i^\theta + \alpha_\theta \beta_{wi}^\theta, i = 1, \dots, r, \theta \in \{A, H, V, D\} \quad (7)$$

$\alpha_\theta$  ضریب شدت نشانه تعبیه شده بوده که برای زیرباند فرکانس پایین (A)  $0,07$  و برای زیرباندهای فرکانس بالا (H, V, D)  $0,25$  می‌باشد. از آنجا که تغییرات زیاد در زیرباند فرکانس پایین شفافیت تصویر را به میزان زیادی کاهش می‌دهد لذا نشانه با شدت کمتری در این زیرباند تعبیه شده است.

مرحله پنجم: زیرباندهای فرکانسی تصویر مرجع نشانه‌گذاری شده به کمک تبدیل SVD معکوس محاسبه می‌شود:

$$X_{k+1}^{*\theta} = U_x^\theta S_x^{*\theta} (V_x^\theta)^T, \theta \in \{A, H, V, D\} \quad (8)$$

برای بدست آوردن تصویر اصلی نشانه‌گذاری شده  $k+1$  مرحله تبدیل موجک معکوس گرفته می‌شود.

### ۳-۲- فرآیند استخراج نشانه

الگوریتم نیمه کور استخراج نشانه بعد از دریافت تصویر نشانه-گذاری شده  $M \times N$   $X_M^*$  و تصویر مرجع  $X_k^A$  به عنوان ورودی، به



شکل ۲: تصاویر نشانه خاکستری



شکل ۳: تصاویر اصلی.



شکل ۴: تصاویر اصلی نشانه‌گذاری شده.

(Lena, Pepper, Pirate, Bridg, Mandril, Lake) به وسیله الگوریتم پیشنهادی و الگوریتم [۹] و با استفاده از نشانه‌های مختلف خاکستری (IT, Circles, IIT) نشانه‌گذاری گردیدند، تصاویر نشانه و میزان مورد استفاده همان تصاویر و نشانه‌های مورد استفاده در [۹] می‌باشند که به ترتیب در اشکال ۲ و ۳ نشان داده شده‌اند. برای حل مصالحه بین شفافیت و مقاومت، با توجه به حساسیت بیشتر سیستم بینایی انسان نسبت به تغییر در زیرباند فرکانس پایین، مقدار  $\alpha$  برای زیرباند فرکانس پایین برابر  $0.07$

#### ۴- نتایج شبیه‌سازی شده

در این بخش برای بررسی الگوریتم پیشنهادی به تحلیل میزان شفافیت و مقاومت تصاویر نشانه‌گذاری شده می‌پردازیم. نتایج با الگوریتم [۹]، که دارای شفافیت و مقاومت بیشتری نسبت به کارهای مشابه می‌باشد، مقایسه می‌گردد.

بدین منظور تصاویر مختلفی با اندازه  $512 \times 512$  پیکسل

نشانه‌های استخراج شده از تصاویر Lena, Pepper, Pirate, Mandrill, Lake و Bridge به ترتیب در اشکال ۵.a, ۵.b, ۵.c, ۵.d, ۵.e و ۵.f نشان داده شده‌اند. بعد از استخراج نشانه، برای قضاوت درباره وجود نشانه و مقایسه بهتر با نتایج [۹] از ضریب همبستگی (Correlation Coefficient) که شباهت بین مقادیر منحصربه‌فرد اصلی و استخراج شده را نشان می‌دهد و مقداری بین [۱, -۱] دارد استفاده می‌گردد. اگر  $\rho$  برابر با ۱ باشد مقادیر منحصربه‌فرد استخراجی و تعبیه شده با هم برابرند و اگر برابر ۱- باشد فرینه یکدیگرند.

$$\rho(w, w^*) = \frac{\sum_{i=1}^d w(i)w^*(i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^d w^2(i)}\sqrt{\sum_{i=1}^d w^{*2}(i)}} \quad (15)$$

که  $w$  و  $w^*$  به ترتیب مقادیر منحصربه‌فرد نشانه اصلی و استخراج شده و  $d = \text{Max}(M_1, N_1)$  می‌باشد. جدول ۲ ضریب همبستگی برای تمامی نشانه‌های استخراجی را نشان می‌دهد. نتایج بدست آمده بیانگر برتری روش پیشنهادی نسبت به روش مورد مقایسه می‌باشد، در حقیقت در روش پیشنهادی، مقادیر منحصربه‌فرد استخراجی دقیقاً برابر با مقادیر منحصربه‌فرد تعبیه شده می‌باشد.

جدول ۱: مقایسه PSNR (برحسب dB) روش پیشنهادی و روش [۹]

	Lena	Pepper	Pirate	Bridge	Mandrill	Lake
روش [۹]	43.65	44.12	42.44	42.44	40.93	41.60
روش پیشنهادی	46.91	48.74	46.11	43.21	43.09	45.31

جدول ۲: مقایسه ضریب همبستگی روش پیشنهادی و روش [۹]

Images	Lena	Pepper	Pirate	Bridge	Mandrill	Lake
روش [۹]	0.9996	0.9996	0.9996	0.9994	0.9995	0.9996
روش پیشنهادی	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

و برای سایر زیرباندهای فرکانسی برابر ۰/۲۵ در نظر گرفته شده است. از تصویر اصلی به کمک فیلتر Daubechies (db1) دو مرحله تبدیل موجک گسسته گرفته می‌شود. برای بررسی کارایی روش پیشنهادی آزمایشهای مختلفی شامل شفافیت و تست مقاومت در برابر هجومهای مختلف بر روی تصاویر نشانه‌گذاری صورت گرفت که به تشریح آنها می‌پردازیم.

#### ۴-۱- شفافیت

بعد از تعبیه نشانه در داخل تصویر اصلی، میزان شفافیت تصویر نشانه‌گذاری شده با معیار PSNR سنجیده شده است. شکل ۴ تصاویر اصلی نشانه‌گذاری شده را نشان می‌دهد.

$$PSNR = 10 \log_{10} \left( \frac{255^2}{MSE} \right) (dB) \quad (13)$$

$$MSE = \frac{\sum_{M,N} [X_1(m,n) - X_2(m,n)]^2}{M \times N} \quad (14)$$

که  $X_1$  و  $X_2$  به ترتیب تصاویر اصلی و نشانه‌گذاری شده می‌باشد. میزان شفافیت الگوریتم پیشنهادی برای تصاویر مختلف در مقایسه با الگوریتم ارائه شده [۹] در جدول ۱ نشان داده شده است که بیانگر برتری آشکار الگوریتم پیشنهادی نسبت به الگوریتم مورد مقایسه می‌باشد.

#### ۴-۲- پایداری

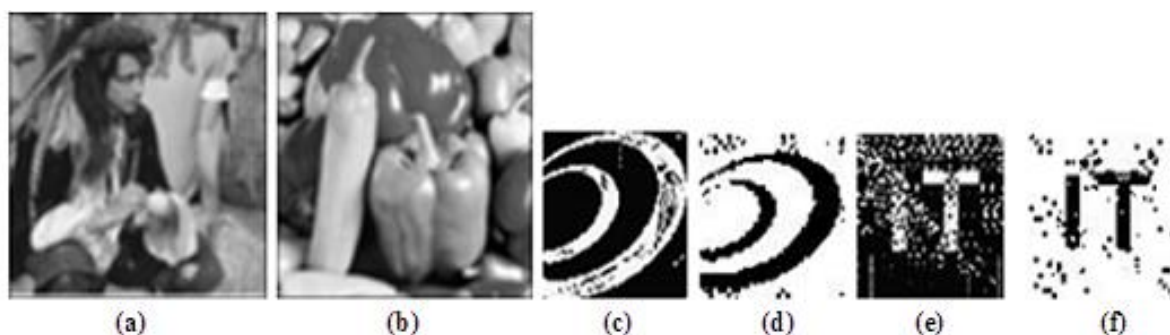


شکل ۵: نشانه‌های استخراج شده. (a) (b) (c) (d) (e) (f)

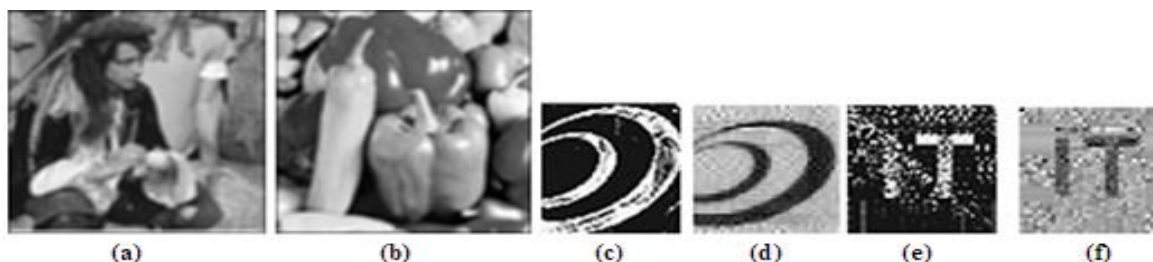
شکل ۵: نشانه‌های استخراج شده.

فیلتر می‌باشد. نتایج حاصل از به کار بردن فیلترهای میانگین و میانه به ترتیب در اشکال ۶، ۷ آورده شده‌اند. اگر چه با اعمال این فیلترها کیفیت تصاویر نشانه‌گذاری شده به شدت افت کرده، با این حال همانطور که از این شکل‌ها پیداست نشانه‌ها همچنان واضح و قابل تشخیص می‌باشند. علاوه بر این همانطور که این اشکال نشان می‌دهند نتایج روش پیشنهادی خصوصا در برابر فیلتر میانگین بهتر از روش [۹] می‌باشد.

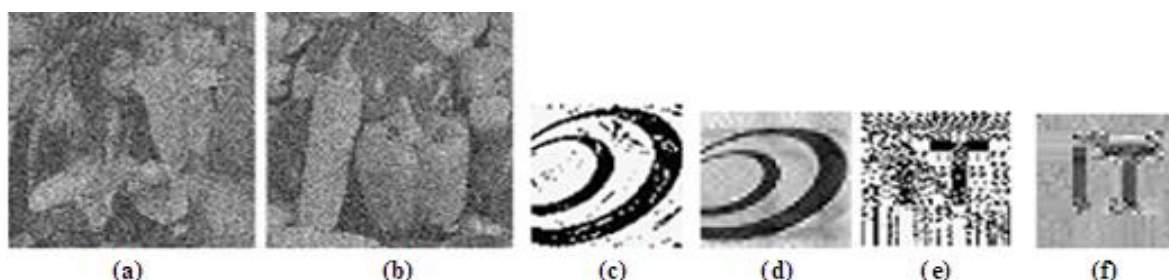
برای بررسی مقاومت روش پیشنهادی و مقایسه با الگوریتم [۹] حمله‌های مختلفی از جمله فیلتر میانگین (۱۳×۱۳)، فیلتر میانه (۱۳×۱۳)، اضافه کردن نویز گوسین ۷۵ درصد، چیدن ۵۰ درصد از تصویر نشانه‌گذاری شده، تغییر اندازه تصویر نشانه‌گذاری شده از ۵۱۲ به ۱۲۸ و سپس برگرداندن به ۵۱۲، چرخش ۵۰ درجه‌ای تصویر نشانه‌گذاری شده، افزایش ۵۰ درصدی کنتراست تصویر و تنظیم هیستوگرام تصویر نشانه‌گذاری شده بر روی تصاویر Pirate و Pepper اعمال شد. یکی از مرسوم‌ترین پردازش‌ها بر روی تصاویر اعمال



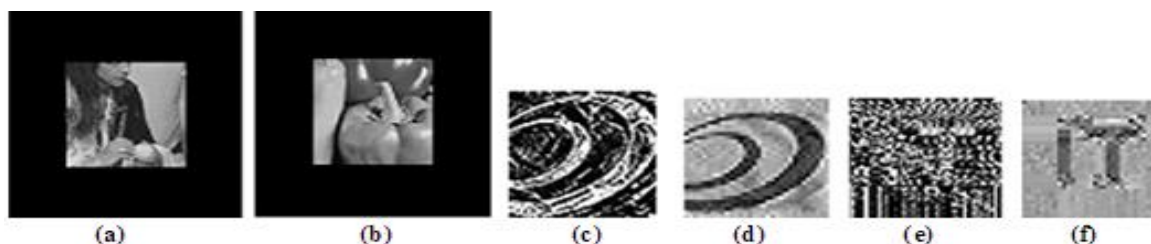
شکل ۶: (b) تصاویر نشانه‌گذاری شده بعد از اعمال فیلتر میانگین (c) و (e) نشانه‌های استخراج شده به روش [۹] (d) و (f) نشانه‌های استخراج شده به روش پیشنهادی



شکل ۷: (b) تصاویر نشانه‌گذاری شده بعد از اعمال فیلتر میانه (c) و (e) نشانه‌های استخراج شده به روش [۹] (d) و (f) نشانه‌های استخراج شده به روش پیشنهادی



شکل ۸: (b) تصاویر نشانه‌گذاری شده بعد از اعمال فیلتر میانه (c) و (e) نشانه‌های استخراج شده به روش [۹] (d) و (f) نشانه‌های استخراج شده به روش پیشنهادی



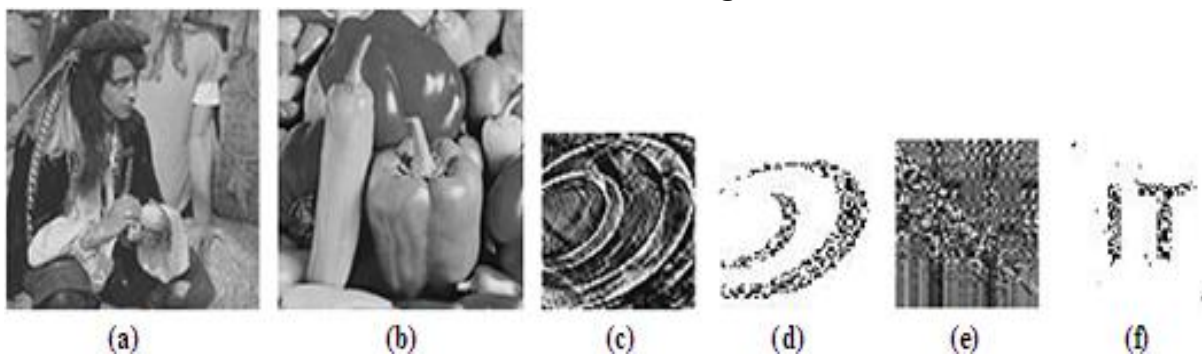
شکل ۹: (b) تصاویر نشانه‌گذاری شده بعد از چیدن تصویر (c) و (e) نشانه‌های استخراج شده به روش [۹] (d) و (f) نشانه‌های استخراج شده به روش پیشنهادی



اندازه با کاهش اندازه تصویر نشانه‌گذاری شده و سپس برگرداندن به اندازه اصلی صورت می‌گیرد. نتایج حاصل از اعمال این هجوم و نشانه‌های استخراجی حاصل از هر دو روش در شکل ۱۰ نشان داده شده‌اند. نشانه استخراجی حاصل از اعمال روش پیشنهادی به خصوص در تصویر Pepper بسیار واضحتر از نشانه استخراجی حاصل از روش [۹] می‌باشد. شکل ۱۱ نتایج حاصل از اعمال چرخش ۵۰ درجه برای هر دو روش (پیشنهادی و مورد مقایسه) را نشان می‌دهد. همانطور از شکل پیداست نشانه‌های استخراجی با استفاده روش پیشنهادی واضح و قابل مقایسه با روش [۹] می‌باشند.

شکل ۸ نتایج حاصل از اضافه کردن نویز گوسین ۷۵ درصد را نشان می‌دهد. اگر چه با اعمال این هجوم اطلاعات زیادی از تصویر نشانه‌گذاری شده از بین رفته است ولی نشانه‌های استخراجی حاصل از روش پیشنهادی و روش مورد مقایسه همچنان واضح بوده و روش پیشنهادی نتایج بهتری از روش [۹] ارائه می‌دهد.

چیدن، تغییر اندازه و چرخش از حملات مرسوم هندسی بوده که به طور گسترده در پردازش تصویر کاربرد دارند. نتایج حاصل از چیدن ۵۰ درصد از تصاویر نشانه‌گذاری شده و نشانه‌های استخراجی بعد از اعمال این هجوم برای هر دو روش در شکل ۹ نشان داده شده است. با اعمال این هجوم تصاویر نشانه‌گذاری شده ۵۰ درصد از اطلاعات خود را از دست می‌دهند. با وجود این روش پیشنهادی توانسته در مقایسه با روش [۹] به خوبی نشانه را استخراج کند. تغییر



شکل ۱۰: (b) تصاویر نشانه‌گذاری شده بعد از تغییر اندازه تصویر (c) (e) نشانه‌های استخراج شده به روش [۹] (f) و (d) نشانه‌های استخراج شده به روش پیشنهادی

جدول ۳: ضریب همبستگی نشانه‌های استخراجی بعد از هجوم‌های مختلف به روش پیشنهادی و روش [۹].

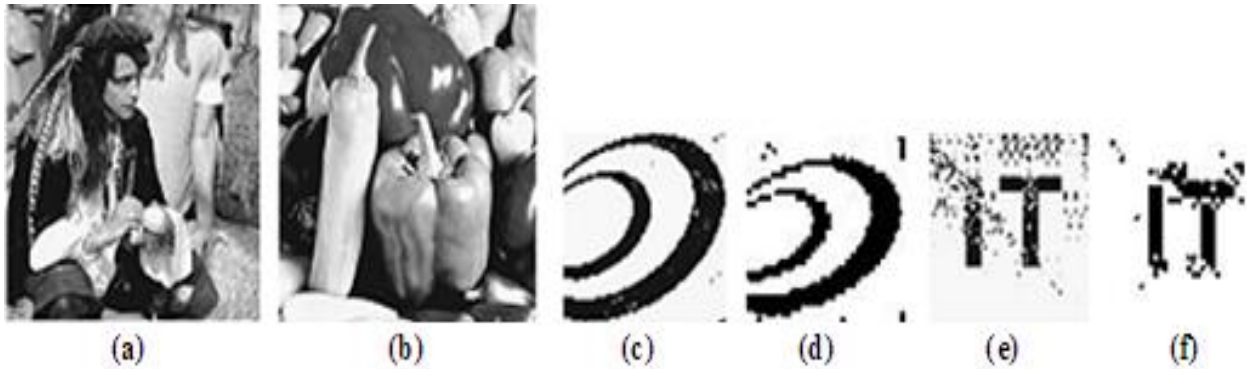
تصاویر	Pirate		Pepper	
	روش پیشنهادی	روش [۹]	روش پیشنهادی	روش [۹]
حملاط				
فیلتر میانگین	0.9688	-0.6209	0.5869	-0.3696
فیلتر میانه	0.8411	-0.5636	0.5058	-0.3233
اضافه کردن نویز	0.9277	0.5604	0.5505	0.2843
چیدن	0.8196	-0.2492	0.4705	0.3840
تغییر اندازه	0.9725	0.0326	0.7158	0.5648
چرخش	0.9767	0.6297	0.7052	0.3309
افزایش کنتراست	0.9752	0.7690	0.7634	0.7557
تنظیم هیستوگرام	0.9801	0.8464	0.6539	0.8620



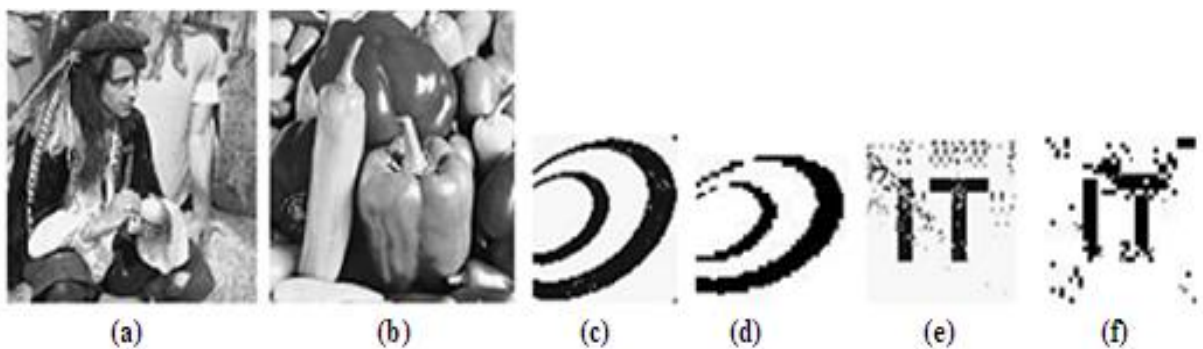
شکل ۱۱: (b) تصاویر نشانه‌گذاری شده بعد از چرخش تصویر (e) نشانه‌های استخراج شده به روش [۹] (f) نشانه‌های استخراج شده به روش پیشنهادی

نتایج تصویری نشان از برتری روش پیشنهادی نسبت به روش مورد مقایسه دارد، این حقیقت را می‌توان از جدول ۳ که نشان دهنده ضریب همبستگی نشانه‌های استخراجی بعد از هجومهای مختلف است مشاهده کرد.

به منظور تست مقاومت روش پیشنهادی در برابر حملات مرسوم پردازش تصویر و مقایسه با روش [۹]، هجومهای افزایش کنتراست و تنظیم هیستوگرام بر روی تصاویر نشانه‌گذاری اعمال شد که به ترتیب در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ نشان داده شده‌اند.



شکل ۱۲: (b) تصاویر نشانه‌گذاری شده بعد از افزایش کنتراست (e) نشانه‌های استخراج شده به روش [۹] (f) نشانه‌های استخراج شده به روش پیشنهادی



شکل ۱۳: (b) تصاویر نشانه‌گذاری شده بعد از تنظیم هیستوگرام (e) نشانه‌های استخراج شده به روش [۹] (f) نشانه‌های استخراج شده به روش پیشنهادی

فرکانسی مرحله آخر تجزیه برای تعبیه نشانه بهره می‌گرفت. تعبیه با تغییر مقادیر منحصر به فرد زیرباندهای فرکانسی تصویر مرجع به وسیله مقادیر منحصر به فرد زیرباندهای فرکانسی تصویر نشانه صورت می‌گیرد. کارایی روش پیشنهادی به وسیله هجومهای مختلف هندسی و غیر هندسی مورد بررسی قرار گرفت که نتایج شبیه

#### ۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله، یک روش جدید نیمه‌کور برپایه تبدیل موجک گسسته با استفاده از تبدیل SVD ارائه گردید که از تمامی زیر باندهای

سازیهای مختلف نشان دهنده برتری روش پیشنهادی از لحاظ شفافیت (PSNR بالا) و مقاومت (ضریب همبستگی بالا) نسبت به روش [۹] می‌باشد.

مراجع

- [8] A. Sverdllov, S. Dexter, A. M. Eskicioglu, "Robust DCT-SVD domain image watermarking for copyright protection: embedding data in all frequencies", 2005.
- [9] G. Bhatnagar, B. Raman, "A new robust reference watermarking scheme based on DWT-SVD" *Computer Standards & Interfaces*, Vol. 31, pp. 1002-1013, 2009.
- [10] G.H. Golub, W. Kahan, "Calculating the singular values and pseudo-inverse of a matrix" *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics: Series B, Numerical Analysis* Vol. 2, No. 2, pp. 205-224, 1965.
- [11] E. Ganic and A. M. Eskicioglu, "Robust embedding of visual watermarks using DWT-SVD" *Journal of Electronic Imaging*, Vol. 14, No. 4, 2005.
- [12] P. Bao and Ma. Xiaohu, "Image adaptive watermarking using wavelet domain singular value decomposition" *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol. 15, No. 1, pp. 96-102, 2005.
- [13] K. Konstantinides, G. S. Yovanof, "Improved compression performance using SVD-based filters for still images," *SPIE Proceedings*, Vol. 2418, San Jose, CA, February 7-8, pp. 100-106, 1995.
- [14] K. Konstantinides, B. Natarajan and G. S. Yovanof, "Noise Estimation and Filtering Using Block-Based Singular Value Decomposition" *IEEE Transactions on Image Processing*, pp. 479-483, 1997.
- [1] A.G. Bors and I. Pitas, "Image watermarking using DCT domain constraints," *Proceeding of IEEE International Conference on Image Processing*, vol. 3, pp. 231-234, 1996.
- [2] R.G.V. Schyndle, A.Z. Tirkel and C.F. Osbrone, "A digital watermark," *Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing*, vol. 2, pp. 86-90, 1994.
- [3] M. S. Raval, P. P. Rege, Discrete wavelet transform based multiple watermarking scheme, *Conference on Convergent Technologies for Asia-Pacific Region*, vol. 3, 2003, pp. 935 - 938.
- [4] W. H. Lin, Y. R. Wang, S. J. Horng, A wavelet-tree-based watermarking method using distance vector of binary cluster, *Expert Systems with Applications* 36(2009), 9869-9878.
- [5] R. Liu and T. Tan, "A SVD-based watermarking Scheme for protecting rightful ownership" *IEEE Transactions on Multimedia*, Vol. 4, No. 1, pp. 121-128, March 2002.
- [6] Q. Li, C.Yuan and Y.Z. Zong, "Adaptive DWT-SVD domain image watermarking using human visual model," *ICACT-2007*, pp. 1947-1951, 2001.
- [7] E. Ganic, A. M. Eskicioglu, Robust DWT-SVD domain image watermarking: embedding data in all frequencies, *ACM Multimedia and Security Workshop 2004*, Magdeburg, Germany, 2004, pp. 20-21.