

بهبود سیستم واترمارکینگ برای تصویر مبتنی بر تبدیل فوریه گسسته با استفاده از منطق فازی

حسن فرسی^۱، علیرضا بزرگیان^۲

گروه مخابرات، دانشکده‌ی مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه بیرجند، HFarsi@birjand.ac.ir

^۲دانشکده‌ی مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه بیرجند، bozorgian_alireza@yahoo.com

چکیده- در این مقاله یک طرح واترمارکینگ دیجیتال در دامنه تبدیل فوریه گسسته مبتنی بر سیستم استنتاج فازی و سیستم بصری انسان معرفی می‌شود. در مرحله اول، تصویر به بلوک های ۸x۸ تقسیم شده و سپس سیستم فازی با توجه به ویژگی‌های بافت یا همان درخشندگی مختلف هر بلوک، ضریبی به آن اختصاص می‌دهد که باعث افزایش مقاومت و شفافیت فرآیند واترمارکینگ خواهد شد. پس از آن، با محاسبه‌ی تبدیل فوریه هر بلوک، دامنه و فاز از هم جدا شده و واترمارک مورد نظر در دامنه پنهان می‌گردد. فرآیند استخراج واترمارک کور بوده که باعث امنیت بالای این روش می‌شود. وضعی که روشهای موجود واترمارکینگ مبتنی بر تبدیل فوریه گسسته دارند این است که از سیستم بینایی انسان استفاده نمی‌کنند و مولفان آن‌ها برای جلوگیری از کاهش کیفیت تصویر، استحکام کمی برای روش خود در نظر می‌گیرند. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد روش پیشنهادی از شفافیت خوبی نسبت به روش‌های متداول برخوردار است و در برابر حملات برش، تارکدن و روشن کردن تصویر، افزودن نویز، فیلترینگ و فشرده سازی مقاوم می‌باشد.

کلیدواژه‌ها- منطق فازی، واترمارکینگ کور، فشرده سازی تصویر، سیستم بینایی انسان

رمز عبور، تغییر محتویات در طول انتقال، صرف زمان جهت رمزگشایی و برگرداندن داده نام برد.

۱. مقدمه

تکنیک واترمارکینگ می‌تواند مکمل تکنیک رمزنگاری باشد بطوری که یک سیگنال غیرمحسوس به سیگنال اصلی (که همیشه ماندگار باشد) اضافه می‌شود و این سیگنال جدید ارسال می‌گردد. این عمل در واقع یک کد انحصاری برای آن داده تلقی می‌شود. برای استفاده از داده‌ی نهان نگاری شده نیازی به برداشتن سیگنال واترمارک نیست زیرا این سیگنال طوری در داده میزبان درج می‌شود که هیچ تاثیر نامطلوب بر داده‌ی اصلی نمی‌گذارد.

واترمارکینگ دیجیتال در سال ۱۹۵۴ توسط یکی از مهندسان شرکت موزاک ابداع شد. در این ابداع یک کد شناسایی به گونه-ای غیرقابل تشخیص یا به اصطلاح نامرئی، به فایل حاوی موسیقی دیجیتالی وصل شد تا بتواند برای اثبات حق مالکیت به کار رود. از آن زمان به بعد از واترمارکینگ دیجیتالی استفاده فراوانی شد اما تا سال ۱۹۹۰ به عنوان یک موضوع تحقیقاتی با ارزش توجه دانشمندان را به خود جلب نکرده بود. اولین انتشاراتی که روی استفاده از واترمارک در تصاویر دیجیتال تمرکز کرد در سال ۱۹۹۰ و بعد از آن در ۱۹۹۳ بود. از اوایل

با توجه به گسترش روز افزون ارتباطات در دنیای امروز، ضرورت کنترل بهینه ارتباطات در محیط‌های گوناگون چند رسانه‌ای بیش از پیش روشن می‌شود و حفاظت از داده‌ها در مقابل کپی برداری و جعل از اهمیت بالایی برخوردار است. برای حفاظت از محصولات دیجیتال چند رسانه‌ای در برابر کپی‌های غیر مجاز و حفظ حق انتشار برای داده‌های صوتی، تصویری و ویدئویی دوتکنیک موجود است [۱]:

۱- رمزنگاری

۲- واترمارکینگ

در رمز نگاری داده‌های دیجیتال در فرستنده رمز شده و پس از دریافت در گیرنده رمزگشایی می‌گردند. این روش تنها در بازه زمانی انتقال اطلاعات بصورت دیجیتالی از فرستنده به گیرنده می‌تواند از اطلاعات محافظت کند [۲]. بعد از دریافت اطلاعات توسط گیرنده، اطلاعات دریافتی از اطلاعات اصلی قابل شناسایی است.

روش‌های مختلف رمزنگاری اگرچه دارای مزایایی هستند اما دارای چندین عیب نیز می‌باشند که از جمله می‌توان به گم شدن

ایجاد کوچکترین تغییری در تصویر تمام داده‌ها تخریب می‌شوند و در ضمن داده‌ها از هیچگونه امنیتی برخوردار نیستند [۵، ۶]. بعد از آن روش‌هایی مانند روش‌های آماری [۷، ۸]، طیف گسترده [۹، ۱۰]، فراکتالی [۱۱] و همچنین روش‌هایی بر پایه تبدیلات کسینوسی [۱۲]، فوریه [۱۳] و موجک [۱۴] مطرح شده است. امروزه دانشمندان در حال تحقیق در مورد روش‌هایی بر پایه سیستم‌های بینایی انسان برای حفظ کیفیت تصویر در هنگام نپهان‌نگاری، کاهش زمان لازم برای استخراج داده و همچنین استخراج داده‌ها بدون کمک تصویر اولیه هستند [۵، ۱۵].

هدف از انجام این مقاله، واترمارکینگ تصاویر دیجیتال در حوزه DFT می‌باشد که سیستم بینایی انسان توسط منطق فازی در آن گنجانده شده است و باعث افزایش مقاومت و شفافیت سیستم واترمارکینگ می‌گردد. ما در این مقاله علاوه بر استفاده از معیار PSNR، از معیار جدیدتری به نام SSIM نیز برای ارزیابی کیفیت تصاویر بهره گرفته‌ایم که متناسب با سیستم بینایی انسان است. سازماندهی این مقاله به صورت زیر می‌باشد: بخش دوم به منطق فازی و سیستم بینایی انسان اختصاص یافته است. بخش سوم روند تعبیه و استخراج واترمارک را توصیف می‌کند. در بخش چهارم نتایج تجربی و مقایسه با روش‌های متداول نشان داده شده است و بخش پنجم مربوط به نتیجه‌گیری می‌باشد.

۲. منطق فازی و سیستم بینایی انسان

۲.۱. منطق فازی

اگر چه واژه منطق فازی تداعی کننده منطق بی اعتبار است ولی دقیقاً به منطق تخمینی و تقریبی ارجاع داده می‌شود. بر خلاف منطق بولی، که به هر گزاره ارزش درست یا غلط را نسبت می‌دهد. کامپیوترها می‌توانند از منطق فازی برای نشان دادن ایده‌های مبهم و غیردقیق استفاده کنند. تئوری مجموعه‌های فازی و منطق فازی را اولین بار پروفیسور لطفی زاده در رساله‌ای به نام «مجموعه‌های فازی - اطلاعات و کنترل» در سال ۱۹۶۵ معرفی نمود. از نخستین روز تولد اندیشه فازی، بیش از چهل سال می‌گذرد. در این مدت نظریه فازی، چارچوب فکری و علمی جدیدی را در محافل آکادمیک و مهندسی معرفی نموده و دیدگاه دانشمندان را نسبت به کم و کیف دنیای اطراف ما تغییر داده است. منطق فازی جهان بینی بدیع و واقع گرایانه‌ای است که به اصلاح شالوده منطق علمی و ذهنی بشر کمک شایانی

دهه‌ی ۱۹۹۰ این موضوع به عنوان یک موضوع جذاب تحقیقاتی مورد توجه قرار گرفت و تا امروز همچنان جذابیت و اهمیت خود را حفظ کرده است [۳].

در واترمارکینگ با استفاده از یک الگوریتم خاص، اطلاعاتی را برای شناسایی اثر در درون آن می‌گنجانند تا ارتباط محصول مورد نظر با مؤلف واقعی آن از طریق این اطلاعات مخفی مشخص گردد.

واترمارکینگ کاربردهای گوناگونی دارد که مهمترین کاربرد آن حفظ حق کپی رایب است. از کاربردهای دیگر آن می‌توان به ردیابی شخص خائن اشاره کرد.

در واترمارکینگ، باید پارامترهایی همچون شفافیت، مقاومت و ظرفیت در نظر گرفته شود که در این میان، شفافیت، نقش اصلی را ایفا می‌کند. برای حفظ شفافیت می‌بایست پس از درج واترمارک، نتوان تصویر واترمارک شده را از روی تصویر اصلی تشخیص داد. برای مقاوم بودن نیز باید دامنه داده‌هایی که وارد می‌شود بزرگ باشد و این موضوع باعث محسوس شدن واترمارک می‌شود. با توجه به رابطه معکوس بین پایداری و نامحسوس بودن، باید تعادلی را میان این دو در نظر گرفت.

منظور از مقاوم بودن آن است که سیگنال واترمارکی که صحت داده میزبان را اثبات می‌کند در برابر تکنیک‌های پردازش تصویر از قبیل فشرده‌سازی، فیلترینگ، چرخش، تغییر شدت روشنایی و برش مقاوم باشد.

می‌توان مقدار محدودی اطلاعات را در یک تصویر پنهان کرد. اندازه این اطلاعات بستگی به نوع و روش واترمارکینگ دارد و نشان‌دهنده ظرفیت است. مقدار اطلاعات باید به اندازه‌ای باشد که اولاً از کیفیت تصویر نکاهد و ثانیاً در مقابل یک سری فرایندهای پردازش تصویر مانند فیلترینگ، فشرده‌سازی، برش، چرخش و تغییر شدت روشنایی دوام داشته باشد. بنابراین بین ظرفیت و مقاومت رابطه عکس برقرار است، بدین ترتیب که هرچه ظرفیت بالاتر رود از مقاومت کاسته می‌شود.

ساده ترین روشی که در ابتدا مطرح شد قرار دادن داده‌ها در کم ارزش ترین بیت (LSB) اطلاعات شدت روشنایی تصویر بود [۴]. این روش هم به راحتی قابل استفاده بود، هم به زمان بسیار کمی نیاز داشت و هم اینکه میزان داده قابل پنهان کردن بسیار زیاد بود. مثلاً در یک تصویر با ابعاد 256×256 نقطه، ۸ کیلو بایت اطلاعات می‌توان ذخیره کرد. این روش تغییر بسیار محسوس در تصویر ایجاد می‌کند، ولی مشکل اساسی آن، این است که با

شبهه آبی دارد، یک واترمارک نامرئی که در کانال آبی جاسازی شده است می‌تواند حاوی انرژی بیشتری نسبت به یک واترمارک نامرئی جاسازی شده در کانال روشنایی یک تصویر رنگی باشد [۱۷].

در حوالی گوشه‌ها و در مناطق متنی یک تصویر، سیستم بینایی انسان حساسیت کمتری به اعوجاج‌ها نسبت به مناطق صاف و هموار دارد. این اثر نهفتگی فضایی نامیده می‌شود.

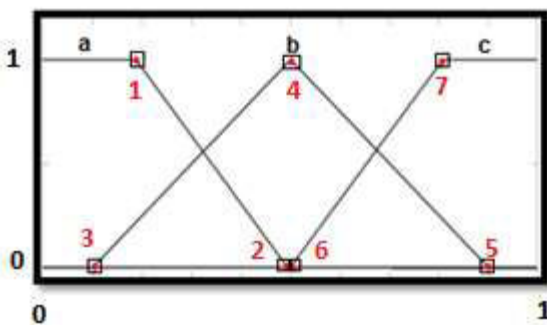
در این مقاله از حساسیت بافت سیستم بینایی انسان استفاده شده است که باعث ایجاد یک سیستم واترمارک کینگ قوی نسبت به روش‌های بدون استفاده از سیستم بینایی انسان می‌گردد.

همانطور که گفته شد بین شفافیت یا همان غیرقابل مشاهده‌گی با مقاومت یک سیستم واترمارک کینگ تبادلی وجود دارد. مسئله‌ی غیرقابل مشاهده‌گی واترمارک فقط با عمق جاسازی مهار می‌شود اما این کار به خاطر سیگنال واترمارک که در تمام تصویر پخش می‌شود محدود می‌گردد.

مناطق یکنواخت تصویر نسبت به افزایش واترمارک بسیار حساس هستند بنابراین آن‌ها برای جاسازی، فقط عمق بسیار کوچکی را پشتیبانی می‌کنند در صورتی که مناطق بافت‌دار افزایش واترمارک عمیق تری را پشتیبانی می‌نمایند. یکی از ویژگی‌هایی که می‌تواند بیانگر بافت تصویر باشد واریانس تصویر است که تنوع مقادیر شدت تصویر را نشان می‌دهد.

۳. تعبیه و استخراج سیستم واترمارک کینگ پیشنهادی

در این مقاله سیستم فازی با توجه به ویژگی‌های مختلف بافت هر بلوک و سیستم بینایی انسان تصمیم‌گیری می‌کند و تابع بهینه وزن واترمارک کینگ را محاسبه نموده بطوریکه واترمارک غیر قابل مشاهده باقی بماند.



شکل ۱: توابع عضویت مربوط به ورودی

هر ورودی از سه تابع عضویت بر اساس واریانس توزیع شده

کرده است.

سیستم‌های استنتاج فازی متداول ترین چهارچوب محاسبه مبتنی بر مفاهیم تئوری فازی هستند که با موفقیت در بسیاری از زمینه‌ها استفاده شده‌اند و موفقیت آن‌ها عمدتاً بدلیل نزدیکی‌شان به ادراک و آگاهی انسان است. ساختار پایه‌ی سیستم‌های استنتاج فازی از سه بخش مفهومی تشکیل می‌شود:

۱- قواعد فازی

۲- پایگاه داده: که توابع عضویت مورد استفاده در قواعد فازی در قالب آن تعریف می‌شود.

۳- سازوکار استنتاج: که روال استنتاج توسط آن و به کمک قواعد و حقایق موجود، برای رسیدن به یک خروجی معقول انجام می‌پذیرد.

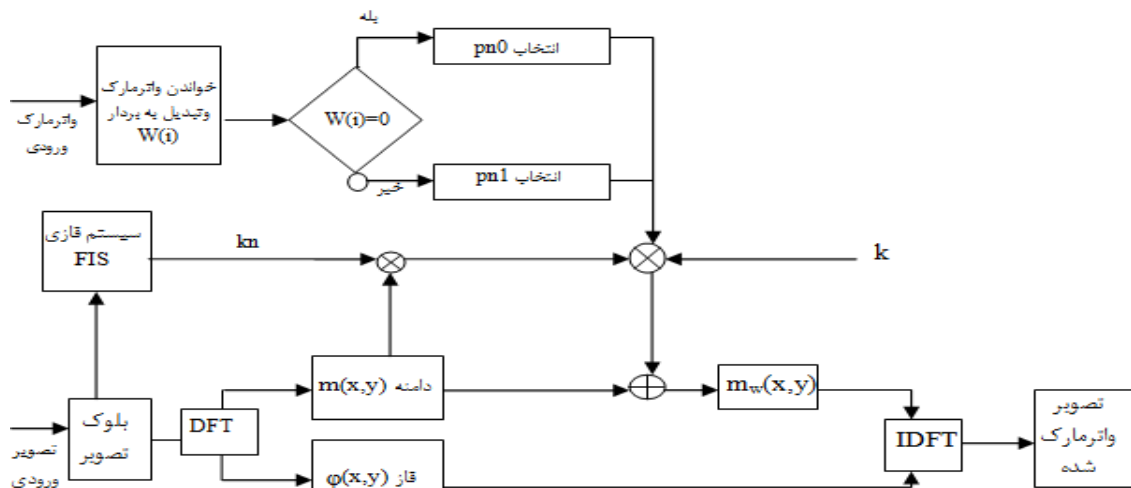
ورودی سیستم‌های استنتاج فازی، می‌تواند در قالب مجموعه‌های معمولی ویا فازی باشد ولی خروجی آن همواره به صورت مجموعه‌های فازی است.

سیستم استنتاج فازی که در این مقاله مورد استفاده قرار گرفته است سیستم مددانی می‌باشد که اولین بار برای کنترل یک موتور ترکیبی بخار به کمک مجموعه‌ای از قواعد فازی مطرح گشت [۱۶]. قواعد مورد استفاده در این سیستم با توجه به تجارب انسانی، فراهم آورده شده‌اند. این سیستم در مقابل سیستم موجود دیگر (سوگنو) دارای مزایایی از قبیل سادگی و شهودی بودن، مقبولیت گسترده و مناسب در مورد ورودی‌های تعریف شده توسط انسان می‌باشد و می‌تواند یک پایگاه دانش بسیار شهودی ارائه کند که درک و حفظ آن آسان است [۱۶].

۲.۲. سیستم بینایی انسان

قدرت و توانایی یک واترمارک می‌تواند بوسیله افزایش انرژی واترمارک بهبود یابد. افزایش انرژی به هر حال کیفیت تصویر را تنزل می‌بخشد. با بهره‌برداری از ویژگی‌های سیستم بینایی انسان، انرژی می‌تواند به صورت منطقه‌ای در جاهایی که چشم آدمی تغییرات را احساس نمی‌کند، افزایش یابد. لذا با بهره‌برداری از سیستم بینایی انسان، می‌توان واترمارک‌های نامرئی که انرژی بیشتری بایستی به صورت یکسان و یکنواخت در سراسر تصویر توزیع شود را به صورت ادراکی جاسازی کرد.

سیستم بینایی انسان حساسیت کمتری به تغییرات در مناطق پر نور (با روشنایی زیاد) دارد. این اثر می‌تواند با وابسته ساختن ضریب بهره واترمارک به روشنایی قابل استفاده باشد. علاوه بر این از آنجا که چشم آدمی کمترین حساسیت را به



شکل ۳: روند تعبیه واترمارک پیشنهادی

واترمارکینگ می شود.

جدول ۱: ورودی و خروجی الگوریتم ژنتیک برای نقاط مشخص شده در توابع عضویت ورودی

ورودی GA	۰/۲۵	۰/۵	۰/۲۵	۰/۵	۰/۷۵	۰/۵	۰/۷۵
خروجی GA	۰/۱	۰/۷۵	۰/۱۸	۰/۳۷۴	۰/۶۳	۰/۴۳	۰/۶

جدول ۲: ورودی و خروجی الگوریتم ژنتیک برای نقاط مشخص شده در توابع عضویت خروجی

ورودی GA	۰/۳۷۵	۰/۷۵	۰/۳۷۵	۰/۷۵	۱/۱۲۵	۰/۷۵	۱/۱۲۵
خروجی GA	۰/۱۲	۰/۵	۰/۴۶	۰/۶۳	۱/۳	۰/۴	۱/۲۵

قوانین فازی به شرح زیر می باشند:

اگر بلوک تصویر صاف (واریانس کم) است آنگاه بهره حداقل است.

اگر بلوک تصویر کمی خشن (واریانس متوسط) است آنگاه بهره متوسط است.

اگر بلوک تصویر خشن (واریانس زیاد) است آنگاه بهره حداکثر است.

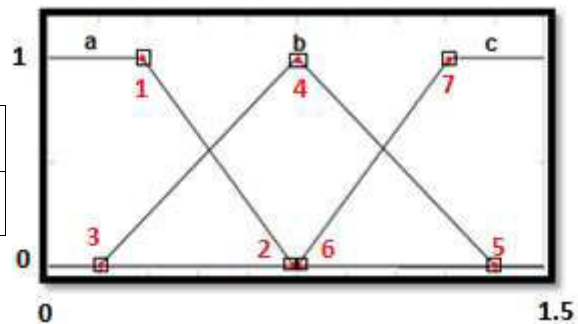
۳.۱. تعبیه واترمارک

شکل ۳ روند تعبیه واترمارک پیشنهادی را نشان می دهد. برای جاسازی واترمارک در تصویر، مراحل زیر را انجام می دهیم:
۱- تصویر میزبان به بلوک های 8×8 تقسیم می شود.

که بیانگر بافت تصویر است، تشکیل شده است. واریانس کم یعنی بافت تصویر صاف، که تابع عضویت در نظر گرفته شده دوزنقه ای است. واریانس متوسط یعنی بافت تصویر کمی خشن، که تابع عضویت در نظر گرفته شده مثلثی است. واریانس زیاد یعنی بافت تصویر زبر، که تابع عضویت در نظر گرفته شده دوزنقه ای است.

در شکل ۱، حالت (a) مربوط به تصویر صاف، حالت (b)

مربوط به کمی خشن و حالت (c) مربوط به تصویر زبر است.



شکل ۲: توابع عضویت مربوط به خروجی

خروجی سیستم فازی بهره ای برای بلوک خاص می باشد که مبتنی بر سه تابع عضویت حداقل، متوسط و حداکثر است. توابع عضویت مربوط به آن ها مانند توابع عضویت ورودی به ترتیب دوزنقه ای، مثلثی، دوزنقه ای است. در شکل ۲، حالت (a) مربوط به بهره حداقل، حالت (b) مربوط به بهره متوسط و حالت (c) مربوط به بهره حداکثر می باشد.

در توابع عضویت ورودی و خروجی مکان نقاط مشخص شده با مستطیل {۱ تا ۷} توسط الگوریتم ژنتیک مطابق جدول ۱ و جدول ۲ بهینه می گردد که باعث بهبود نتایج سیستم

$$M(i, j) = M(i, j)(1 + k \times Kn \times Pnl(0 \text{ or } 1)) \quad (5)$$

$$l \in [1, b]$$

که در آن b برابر با تعداد یک‌های فیلتر می‌باشد. لازم به ذکر است مکان‌هایی از دامنه بلوک طبق رابطه (۵) تغییر می‌کنند که مقدار فیلتر در آن مکان برابر یک باشد.

۹- دامنه جدید تولید شده در کنار فاز بلوک قرار می‌گیرد، از آن معکوس تبدیل فوریه گرفته شده و بلوک واترمارک شده تولید می‌گردد.

۱۰- به همین ترتیب برای مقادیر دیگر بردار واترمارک در بلوک‌های دیگر اقدام می‌گردد.

۳.۲ استخراج واترمارک

شکل ۴ فرآیند استخراج واترمارک را نشان می‌دهد.

۱- تصویر واترمارک شده به بلوک‌های 8×8 تقسیم می‌شود.

۲- تبدیل فوریه بلوک محاسبه می‌شود.

۳- دامنه و فاز از هم جدا می‌شوند.

۴- به ازای مکان‌هایی از فیلتر که مقدار یک دارد، مقادیر بلوک در یک جمله قرار داده می‌شود. بعنوان مثال اگر

فیلتر 3×3 و بصورت زیر باشد:

$$fm = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

و بلوک واترمارک نیز 3×3 و بصورت زیر باشد:

$$w = \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \end{bmatrix} \quad (7)$$

آنگاه برداری به شکل زیر تشکیل می‌شود:

$$S = [b \ d \ e] \quad (8)$$

۵- همبستگی بین جمله تولید شده و دنباله‌های $Pn0$ و $Pn1$ مطابق با معادله (۹) محاسبه می‌شود.

$$corr = \frac{\sum_{i=1}^b (pn_i - \overline{pn})(s - \overline{s})}{\sqrt{\sum_{i=1}^b (pn_i - \overline{pn})^2 \sum_{i=1}^b (s - \overline{s})^2}} \quad (9)$$

که در آن b برابر با تعداد یک‌های فیلتر می‌باشد.

۲- تصویر واترمارک به یک بردار تبدیل می‌شود، به این صورت که ستون‌های ماتریس تصویر در کنار یکدیگر قرار گرفته و یک بردار را می‌سازند. به طور مثال اگر w یک واترمارک 3×3 بصورت رابطه (۱) باشد:

$$w = \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \end{bmatrix} \quad (1)$$

آنگاه بردار واترمارک (W) به صورت رابطه (۲) خواهد بود:

$$w = [a \ d \ g \ b \ e \ h \ c \ f \ i] \quad (2)$$

۳- تبدیل فوریه هر بلوک محاسبه می‌گردد.

۴- واریانس بلوک تصویر محاسبه شده و بعنوان ورودی به سیستم استنتاج فازی وارد می‌شود. همانطور که در قسمت قبل توضیح داده شد، سیستم استنتاج فازی بهره‌ای (در اینجا kn) به هر بلوک براساس واریانس، اختصاص می‌دهد. برای محاسبه واریانس، ابتدا بلوک 8×8 به یک ماتریس با یک سطر و 8×8 ستون تبدیل شده سپس واریانس از معادله (۳) محاسبه می‌گردد:

$$var = \left(\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

۵- دامنه تبدیل فوریه $M(x, y)$ از فاز $Q(x, y)$ آن جدا می‌شود.

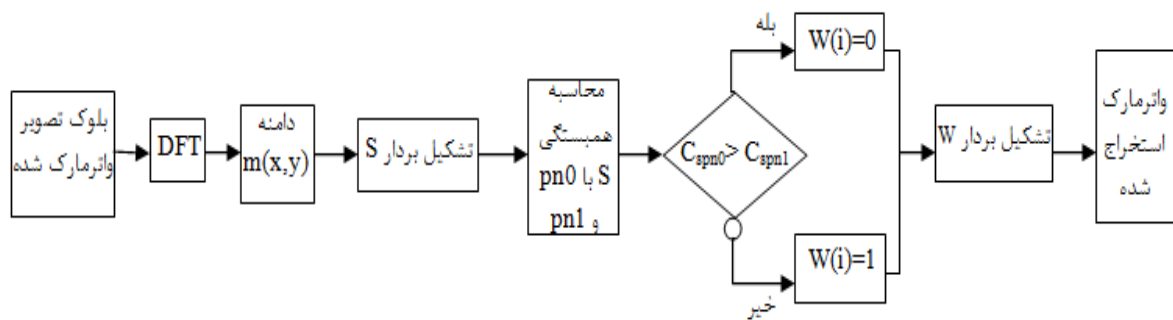
۶- یک فیلتر 8×8 (۱ و ۰) تعریف می‌شود که مکان جاسازی واترمارک را در دامنه تبدیل فوریه گسسته بلوک مشخص می‌نماید (مکان‌هایی از فیلتر که دارای مقدار یک است).

انتخاب فیلتر بصورت تجربی و بر مبنای حساسیت سیستم بینایی است که در رابطه (۴) نشان داده شده است:

$$fm = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

۷- دو دنباله شبه تصادفی $pn0$ و $pn1$ با توزیع یکنواخت استاندارد تولید می‌گردند. تعداد عناصر این دنباله‌ها برابر با تعداد یک‌های فیلتر پیشنهادی می‌باشد.

۸- یکی از عناصر بردار واترمارک انتخاب می‌شود. براساس آنکه این مقدار ۰ یا ۱ است، دنباله‌های شبه تصادفی به ترتیب $pn0$ و $pn1$ انتخاب شده و همراه با بهره FIS طبق رابطه (۵) به دامنه اضافه می‌گردند:



شکل ۴: فرآیند استخراج واترمارک روش پیشنهادی

۴.۱.۱. نتایج مربوط به تعبیه و استخراج واترمارک

بررسی کیفیت تصویر واترمارک شده در این مقاله توسط شاخص‌های PSNR و SSIM انجام شده است که در ادامه معرفی می‌شوند. شاخص PSNR یا پیک سیگنال به نویز یک شاخص قدیمی است که هنوز یک استاندارد بسیار معمول برای ارزیابی کیفیت تصویر می‌باشد و به صورت زیر تعریف می‌شود [۱۸]:

$$Psnr = 10 * \log(MAX^2 / MSE) \quad (10)$$

که در آن MAX بیشترین مقدار ممکن برای تصویر است (معمولا ۲۵۵) و MSE به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{x=0}^{m-1} \sum_{y=0}^{n-1} \|I_w(x,y) - I(x,y)\|^2 \quad (11)$$

که در آن m و n ابعاد تصویر، x و y مختصات تصویر، $I_w(x,y)$ و $I(x,y)$ دو تصویر مورد بررسی می‌باشند. PSNR معمولا بر حسب دسی بل بیان می‌شود. مقادیر بالاتر از ۴۰ دسی بل نشان می‌دهد تخریب کم است، در حالی که مقادیر کمتر از ۳۰ دسی بل نشان می‌دهد کیفیت پایین است.

شاخص SSIM یا شاخص شباهت ساختاری شاخص جدیدتر ارزیابی تصویر است که در سال ۲۰۰۴ پیشنهاد شد. این شاخص معیارهای قبلی از جمله PSNR را بهبود می‌بخشد و با سیستم بینایی انسان مطابقت زیادی دارد و مقداری بین صفر و یک دارد که مقادیر نزدیک به صفر بیانگر تخریب کمتری باشد [۱۹].

شاخص دیگری به نام ضریب همبستگی نرمال (NC) نیز در اینجا مورد استفاده قرار گرفته است که بیانگر شباهت یا

۶- اگر همبستگی با $Pn0$ از همبستگی با $Pn1$ بیشتر باشد مقدار بردار واترمارک در آن بلوک 0 خواهد بود و برعکس.
۷- مراحل بالا به ازای طول بردار واترمارک تکرار می‌گردد.
۸- از کنار هم قرار دادن $W(i)$ ها بردار W بدست می‌آید.
۹- بردار W تولید شده از حالت بردار به پیام مورد نظر (در اینجا تصویر) برگردانده می‌شود.

۴. آزمایش‌ها و نتایج

۴.۱. ارزیابی روش پیشنهادی

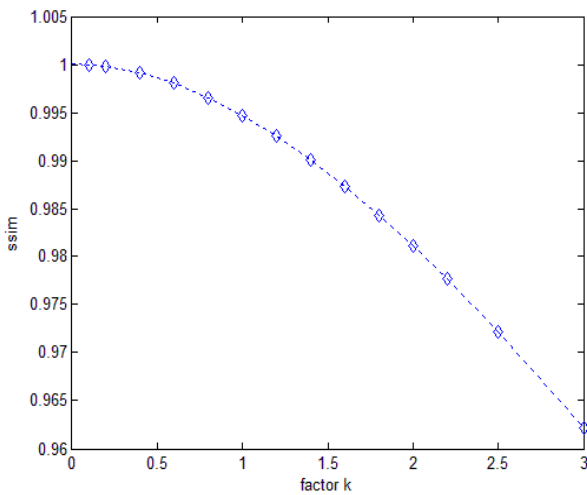
عملکرد روش پیشنهادی را با انجام شبیه‌سازی‌های متعدد و با استفاده از تصویر میزبان، شکل ۵، و تصویر واترمارک، شکل ۶، ارزیابی می‌کنیم. لازم به ذکر است علت انتخاب تصویر میزبان آن است که در اکثر مقالات مربوط از این تصویر استفاده شده است.



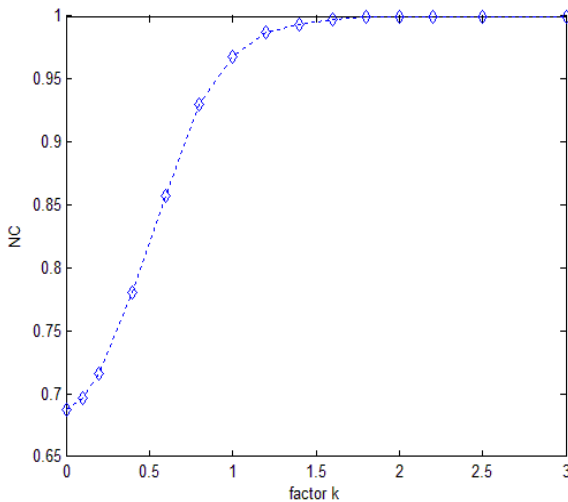
شکل ۵: تصویر lena ۵۱۲×۵۱۲



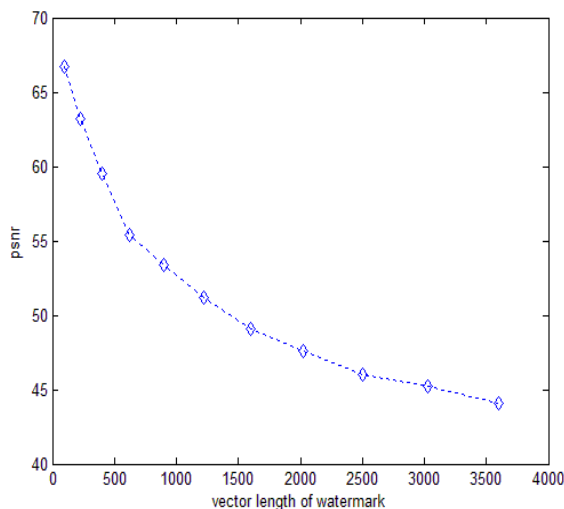
شکل ۶: تصویر واترمارک



شکل ۸: نمودار تغییرات SSIM بر حسب مقادیر مختلف k



شکل ۹: نمودار تغییرات NC بر حسب مقادیر مختلف k



شکل ۱۰: نمودار تغییرات PSNR بر اساس تغییرات طول بردار واترمارک

همبستگی واترمارک و پیام استخراج شده از تصویر واترمارک شده می‌باشد که مقدار بین ۰ و ۱ دارد و به صورت زیر تعریف می‌شود [۲۰]:

$$NC = \frac{\sum_i \sum_j w(i,j) \times w_m(i,j)}{\sqrt{\sum_i \sum_j w(i,j) \times w(i,j)} \times \sqrt{\sum_i \sum_j w_m(i,j) \times w_m(i,j)}} \quad (12)$$

واترمارک استخراج شده برای مقادیر بیشتر از $NC=0.8$ قابل تشخیص می‌باشد.

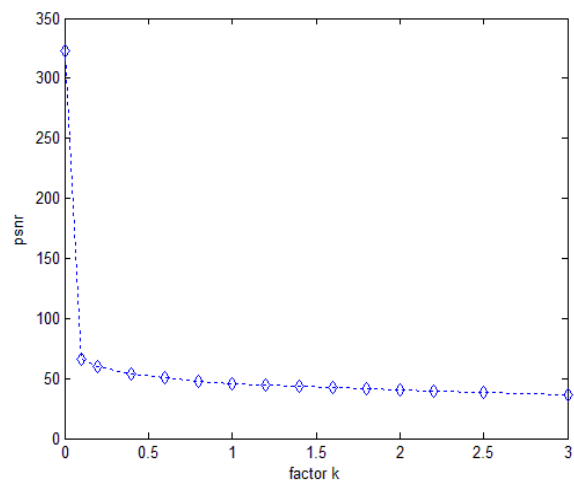
در سیستم واترمارکینگ مورد استفاده دو پارامتر قابل کنترل می‌باشند که عبارتند از:

- فاکتور k
- اندازه ی واترمارک

در مرحله‌ی نخست اندازه‌ی واترمارک ثابت (50×50) در نظر گرفته شده و با تغییر دادن مقادیر k، PSNR و SSIM مربوط به تصاویر میزبان و واترمارک شده و NC مربوط به پیام اصلی و پیام استخراج شده را محاسبه می‌کنیم. نتایج حاصل در شکل‌های ۷، ۸ و ۹ نمایش داده شده است.

همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش k، مقادیر PSNR و SSIM کم شده اما NC افزایش می‌یابد. با این حال در محدوده‌ی تغییرات k، مقادیر PSNR و SSIM و NC برای یک سیستم واترمارکینگ قابل قبول می‌باشند و نشان دهنده‌ی یک سیستم واترمارکینگ خوب است.

در مرحله بعد فاکتور k ثابت $(k=1)$ گرفته شده و با تغییر طول بردار واترمارک، مقادیر PSNR، SSIM و NC را اندازه می‌گیریم. نتایج حاصل در شکل‌های ۱۰، ۱۱ و ۱۲ نمایش داده شده است.



شکل ۷: نمودار تغییرات PSNR بر حسب مقادیر مختلف k

همان گونه که در این نمودار ها مشاهده می شود، با افزایش طول بردار واترمارک، مقادیر PSNR و SSIM کاهش یافته و NC افزایش می یابد. با این حال در محدوده تغییرات طول واترمارک، مقادیر PSNR و SSIM و NC برای یک سیستم واترمارکینگ خوب قابل قبول می باشند.

برای اطمینان از نتایج بدست آمده، تعبیه واترمارک را روی تصاویر دیگر نیز انجام می دهیم. تصاویر با پسوند bmp و اندازه 512×512 انتخاب شده اند [۲۳]. تصویر واترمارک با اندازه 50×50 مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین مقدار k برابر با $1/2$ در نظر گرفته شده است.

مقادیر PSNR و SSIM مربوط به تصویر اصلی و تصویر واترمارک شده می باشد و مقدار NC مربوط به تصویر واترمارک اصلی و واترمارک استخراج شده است که نتایج در جدول ۳ آمده است.

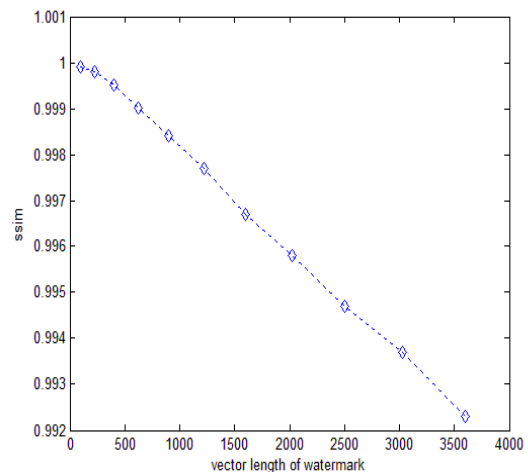
۴.۲.۱. استحکام در برابر فیلتر کردن

در ادامه، استحکام روش پیشنهادی را نسبت به فیلتر های متفاوت آزمایش کرده ایم. بدین صورت که ابتدا تصویر واترمارک شده را بدست آورده و سپس فیلتر مورد نظر را روی آن اعمال می کنیم. آنگاه از تصویر فیلتر شده، واترمارک استخراج می شود. لازم به ذکر است که مقادیر PSNR و SSIM به ترتیب دارای مقادیر ۴۵dB و ۰/۹۹ می باشند. فیلترهایی که دارای پارامتر باشند را با تغییر پارامترهای آن ها به کار برده ایم. نمودار نتایج مربوطه در شکل ۱۳ آمده است.

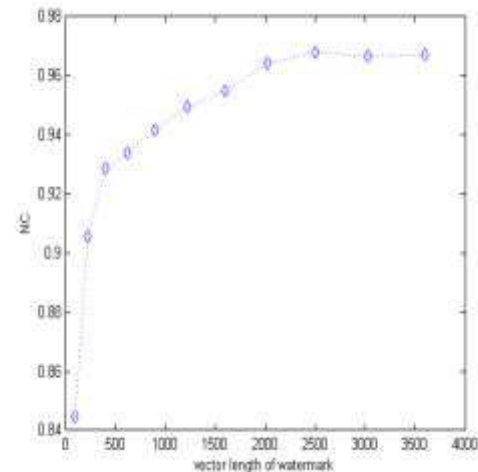
همان طور که در شکل ۱۳ مشاهده می شود بعد از اعمال فیلترهای مختلف، NC دارای مقادیر نزدیک به یک بوده که نشان دهنده مقاوم بودن روش پیشنهادی نسبت به فیلترینگ می باشد.

۴.۳.۱. استحکام در برابر تغییر مقادیر شدت نور

در این قسمت مقادیر شدت نور تصویر تغییر داده می شود و مقدار NC را بدست می آوریم. مقدار PSNR و SSIM به ترتیب ۴۵dB و ۰/۹۹ می باشد. NC تصاویر روشن و کدر شده دارای مقداری بیش از ۰/۹۹ است که نشان دهنده مقاومت خوب این روش در برابر تغییر شدت نور می باشد. شکل ۱۴ و ۱۵ بطور نمونه تصاویر کدر و روشن شده را نشان می دهد.










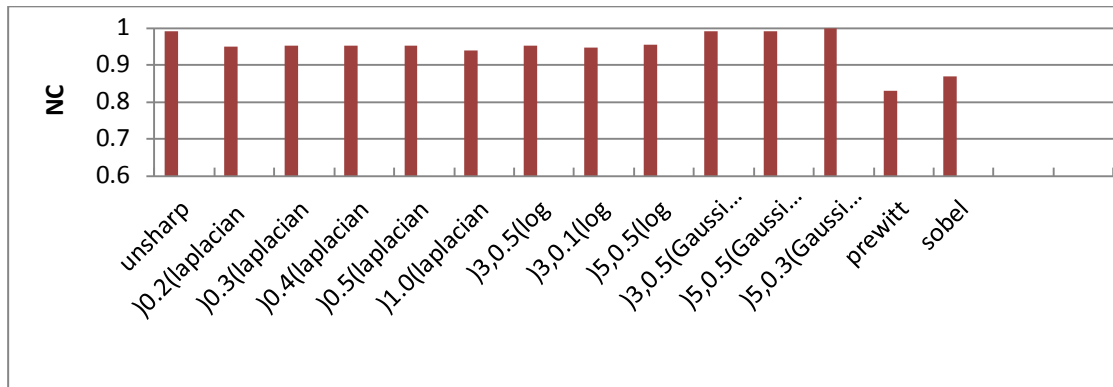
شکل ۱۱: نمودار تغییرات SSIM براساس تغییرات طول بردار واترمارک



شکل ۱۲: نمودار تغییرات NC براساس تغییرات طول بردار واترمارک

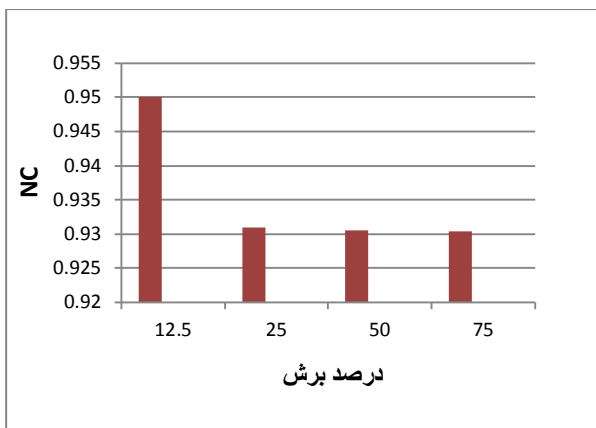
جدول ۳: مقادیر PSNR، SSIM و NC برای تصاویر مختلف [۲۳]

تصاویر		PSNR	SSIM	NC
Lena		۴۵/۶۳	۰/۹۹۸	۰/۹۹۵۲
Baboon		۳۴/۸۰	۰/۹۶۰	۱
Barbara		۴۰/۶۲	۰/۹۸۲	۰/۹۹۳۹
Couple		۴۳/۳۲	۰/۹۹۳	۰/۹۹۹۰
Goldhill		۴۳/۳۲	۰/۹۹۷	۰/۹۹۴۹
Peppers		۴۲/۰۹	۰/۹۹۰	۰/۹۹۶۰
Elaine		۴۴/۳۵	۰/۹۹۲	۰/۹۹۵۳



شکل ۱۳: مقدار ضریب همبستگی نرمال مربوط به فیلترهای متفاوت

۰/۹۳ است.



شکل ۱۶: نمودار مقدار NC برای تصاویر برش خورده



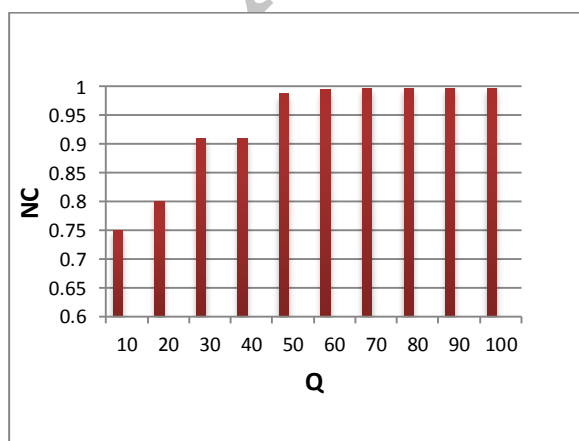
شکل ۱۴: تصویر کدر شده ، NC=0.997



شکل ۱۵: تصویر روشن شده ، NC=0.996

۴.۵.۱. استحکام در برابر فشردگی سازی jpeg

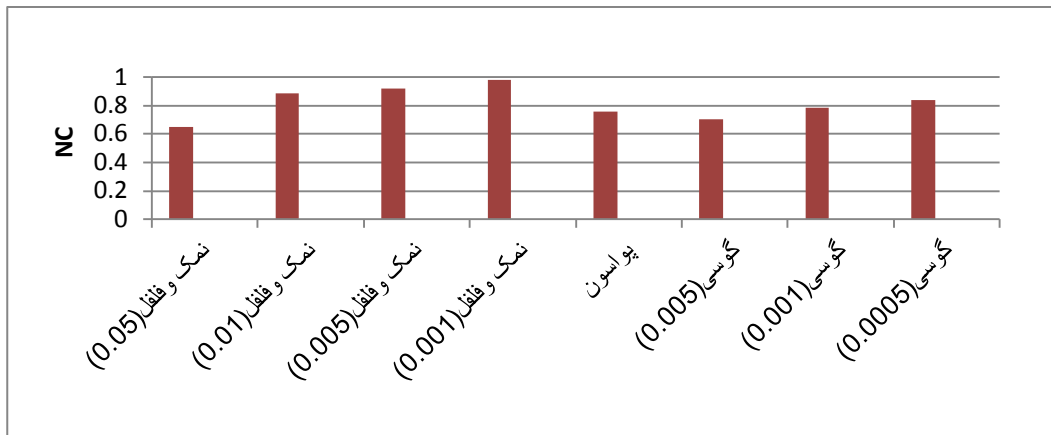
برای انجام این آزمایش تصویر واترمارک شده توسط ضریب کیفیت‌های (Q) متفاوت فشرده شده است [۲۲]. سپس NC مربوط به واترمارک استخراج شده از تصویر فشرده شده و واترمارک اصلی محاسبه می شود. نتایج حاصل در شکل ۱۷ آمده است.



شکل ۱۷: نمودار مقدار NC برای فشردگی با ضریب کیفیت‌های مختلف

۴.۴.۱. استحکام در برابر برش

برای انجام این آزمایش تصویر واترمارک شده برش داده شده و سپس واترمارک را از تصویر برش خورده استخراج می کنیم. مقادیر NC برای برش‌های مختلف در نمودار شکل ۱۶ آمده است. همانطوریکه مشاهده می شود روش پیشنهادی مقاومت خوبی در برابر برش و حذف از خود نشان می دهد به طوری که NC آن بعد از برش ۷۵٪ هنوز دارای مقداری بیش از

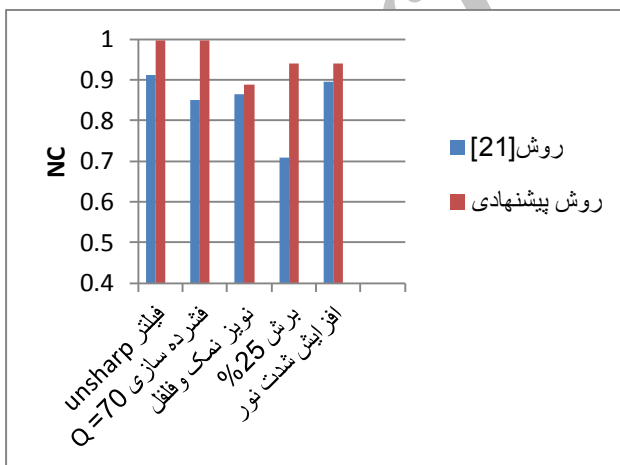


شکل ۱۸: نمودار مقادیر ضریب همبستگی نرمال برای نویزهای مختلف

ترکیبی در دامنه فرکانس است و همچنین [۲۳، ۲۴] که روش-های مشابه با روش پیشنهادی می‌باشند، انتخاب شده‌اند (مقایسه بر اساس آزمایش‌های انجام شده توسط [۲۱، ۲۲، ۲۳، ۲۴] می-باشد و فقط حملات مورد استفاده در این روش‌ها مقایسه شده-اند).

در [۲۱] از تصویر (۲۵۶×۲۵۶) lena به عنوان تصویر میزبان استفاده شده است و واترمارک، تصویر ۳۲×۳۲ می‌باشد. برای مقایسه ما نیز از تصویر و واترمارک مشابه استفاده کرده ایم و نتایج مقایسه در شکل ۱۹ آمده است.

در [۲۲] تصویر (۵۱۲×۵۱۲) lena به عنوان تصویر میزبان و واترمارک، تصویر ۸×۸ می‌باشد. نتیجه‌ی مقایسه در شکل ۲۰ قابل مشاهده است.



شکل ۱۹: مقایسه NC روش پیشنهادی با روش [۲۱]

همانطوریکه مشاهده می‌شود، ضریب کیفیت‌های بیش از ۲۰ دارای NC بالاتر از ۰/۸ هستند که حاکی از مقاوم بودن روش پیشنهادی در برابر فشرده‌سازی jpeg است.

۴.۶.۱. استحکام در برابر نویز

برای انجام این آزمایش تصویر واترمارک شده تحت نویزهای مختلف از جمله نویز نمک و فلفل با چگالی‌های مختلف، نویز پواسون و نویز گوسی با متوسط صفر و واریانس‌های متفاوت قرار گرفته و سپس واترمارک از تصویر نویزی استخراج می‌گردد. مقادیر NC در شکل ۱۸ برای نویزهای مختلف آمده است.

۴.۲. مقایسه با روش‌های دیگر

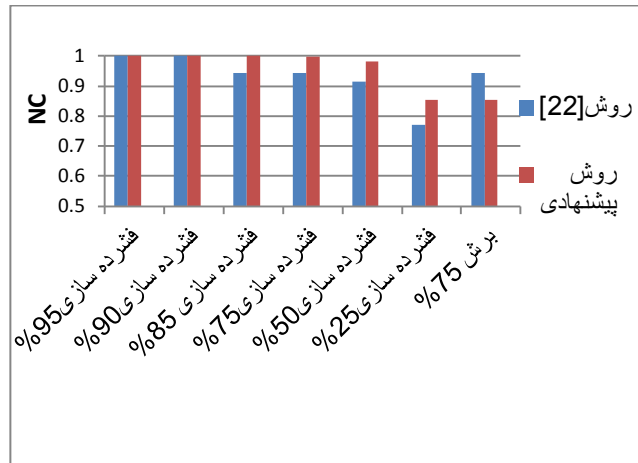
همانطور که گفته شد روش پیشنهادی در این مقاله از منطق فازی و سیستم بینایی انسان برای بهبود سیستم واترمارکینگ بهره گرفته است که بطور قابل توجهی باعث بهبود نتایج حاصله شده است.

در این روش بدون استفاده از منطق فازی، PSNR مربوط به تصویر واترمارک شده ۳۸/۵۷۶۰ dB بوده ولی بعد از اعمال ضریب بدست آمده از منطق فازی مقدار PSNR به مقدار ۴۳/۳۲۰ dB می‌رسد. همچنین NC مربوط به واترمارک استخراج شده دارای مقدار ۰/۹۹۲ است که نشان دهنده‌ی شفافیت خوب این روش است.

پس از بررسی اثر حمله‌های متفاوت بر روی واترمارک استخراج شده از تصویری که توسط الگوریتم پیشنهادی واترمارک شده، نتایج حاصل با نتایج همین حمله‌ها در خروجی الگوریتم‌های دیگر مقایسه می‌شوند. به این منظور روش ارائه شده در [۲۰] که روشی بر پایه‌ی DWT و [۲۱] که یک روش

جدول ۴: مقایسه تعداد بیت خطای استخراج روش پیشنهادی با روش [۲۳]

تصاویر	موقعیت (۲و۲) (۴و۷)	موقعیت (۴و۱) (۵و۲)	موقعیت (۵و۵)(۴و۵)	موقعیت (۳و۱) (۶و۴)	تعداد بیت خطا استخراج $k=3$	تعداد بیت خطا $k=2$
Lena	۱	۱	۳	۱	۰	۱
Baboon	۱	۲	۱	۰	۰	۰
Barbara	۰	۰	۲	۱	۰	۰
Couple	۰	۰	۵	۰	۰	۰
Goldhill	۰	۲	۳	۰	۰	۳
Peppers	۱	۱	۳	۱	۰	۰
Elaine	۱	۰	۳	۲	۰	۰



شکل ۲۰: مقایسه NC روش پیشنهادی با روش [۲۲]

جدول ۵: مقایسه PSNR روش پیشنهادی با روش [۲۳]

تصاویر	(۵و۲) (۴و۱)	(۶و۴) (۳و۱)	$k=3$	$k=2$
Lena	۳۲/۸۱۶۲	۳۰/۲۲۴۲	۵۳/۶۴	۵۷/۱۶
Baboon	۴۲/۲۱۰۵	۳۵/۳۴۰۸	۴۰/۶۷	۴۵/۱۳
Barbara	۳۷/۴۱۵۲	۲۹/۶۵۱۶	۴۱/۵۰	۴۵/۳۰
Couple	۳۴/۹۴۸۸	۳۹/۵۴۷۵	۴۹/۳۸	۵۲/۹۰
Goldhill	۳۵/۳۶۴۴	۳۷/۰۷۰۹	۶۱/۴۲	۶۴/۹۵
Peppers	۳۲/۸۶۹۸	۳۲/۶۳۸۷	۳۶/۷۸	۴۰/۲۷
Elaine	۴۰/۰۵۸۵	۳۲/۶۱۱۵	۴۴/۷۰	۴۸/۲۳

همانطور که مشاهده می‌کنیم روش پیشنهادی دارای مقادیر PSNR بهتری نسبت به روش [۲۳] است.

جدول ۶: مقایسه بیت های خطای استخراج روش پیشنهادی با [۲۳] بعد از برش ۱/۱۶

تصاویر	(۶و۴) (۳و۱)	روش پیشنهادی
Baboon	۲	۱
Barbara	۳	۱
Couple	۳	۳

در جدول ۶ تعداد بیت‌های خطای استخراج روش پیشنهادی با روش [۲۳] بعد از برش ۱/۱۶ مقایسه شده است که نشان دهنده برتری روش پیشنهادی است.

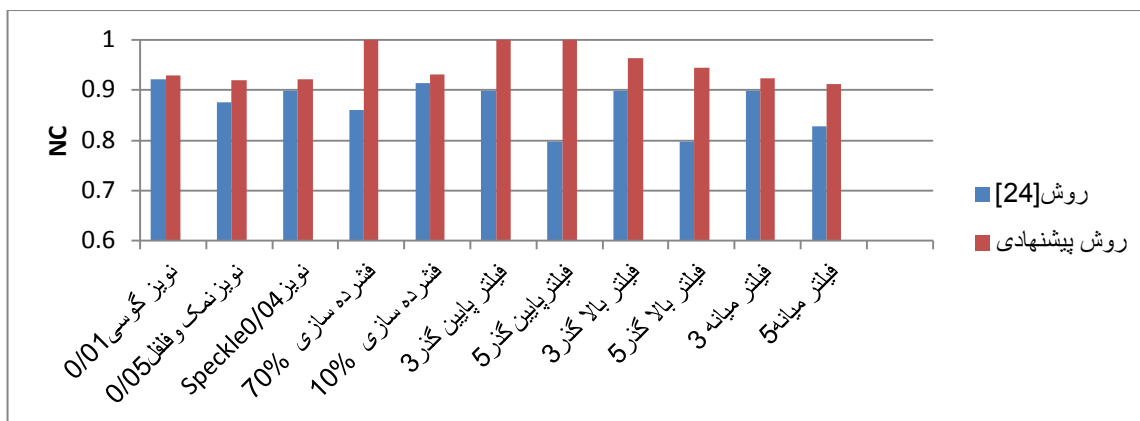
برای مقایسه عملکرد روش پیشنهادی با [۲۴]، تصویر اصلی

از شکل‌های ۱۹ و ۲۰ چنین استنباط می‌شود که روش پیشنهادی در برابر حملات مختلف با توجه به فراهم آوردن NC بالاتر، دارای مقاومت بیشتری نسبت به روش‌های ارائه شده در [۲۲، ۲۱] می‌باشد. در [۲۲] بدلیل اینکه تصویر اصلی به چهار قسمت تقسیم شده و هر قسمت هم توسط الگوریتم جداگانه‌ای واترمارک شده است، در برابر برش ۷۵٪ نتیجه‌ی بهتری دارد البته این کار باعث شده است که ظرفیت خیلی کمی برای آن در نظر گرفته شود.

در [۲۳]، از تصاویر مختلف با اندازه‌ی 512×512 به عنوان تصویر میزبان استفاده شده و واترمارک یک پیام ۴۸ بیتی است. همانطور که در روش پیشنهادی گفته شد، ما می‌توانیم پارامتر k را تغییر دهیم و چون در [۲۳] مقادیر PSNR بالا نبوده و مقادیر خطای استخراج کمی دارد، مقدار k را برابر ۲ و ۳ در نظر می‌گیریم (با افزایش مقدار k مقدار PSNR کم خواهد شد اما در عوض خطای استخراج نیز کم می‌شود).

در جدول ۴ ستون‌های ۲ تا ۵ مربوط به تعداد بیت خطای استخراج مرجع [۲۳] می‌باشد که واترمارک در موقعیت‌های مختلف تعبیه شده است و ستون ۶ و ۷ مربوط به آزمایش روش پیشنهادی است که تعداد بیت خطا را به ترتیب برای $k=2$ و $k=3$ نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌کنیم با در نظر گرفتن $k=3$ تعداد بیت خطا برای تمام تصاویر صفر خواهد بود.

در جدول ۵ مقدار PSNR روش پیشنهادی با [۲۳] برای تصاویر مختلف مقایسه شده است که ستون‌های ۲ و ۳ مقدار PSNR برای روش [۲۳] در موقعیت مختلف تعبیه و ستون‌های ۴ و ۵ مقدار PSNR روش پیشنهادی با در نظر گرفتن $k=3$ و $k=2$ را نشان می‌دهد.



شکل ۲۱: نمودار مقایسه روش پیشنهادی با روش [۲۴]

- [4] K. Penumarthi, Bachelor of Technology, Jawaharlal Nehru Technological University, Hyderabad, India, 2002, "AUGMENTED WATERMARKING", December 2005.
- [5] L.M.Marvel et al., "Spread spectrum image steganography", IEEE Transactions on Image Processing. Vol.8, No.8, pp.1075-1083, Aug 1999.
- [6] W.Zhu et al., "Multiresolution watermarking for Images and video", IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol.9, No.4, pp.545-550, June 1999.
- [7] W.Bender et al., "Techniques for data hiding", IBM systems journal, Vol.34, Nos. 3&4, pp. 313-316.
- [8] W.Bender and D.Gruhl, "Information Hiding to Foil the Casual Counterfeiter", Second International Information Hiding Workshop, Lecture Notes in Computer Science, pp.1-15, April 1998.
- [9] L.M.Marvel, "Image steganography for hidden communication", PHD thesis, University of Delaware, spring 1999.
- [10] J.J. Cox et al., "Secure spread spectrum watermarking for multimedia", IEEE Transactions on Image Processing, Vol.6, No.12, pp.1673-1687, Dec.1997.
- [11] P.Bas et al., "Using the fractal code to watermark images", Proceedings of the IEEE Inter.Conf.on Image Processing, Vol.I, pp.469-473, 1998.
- [12] C.F.Wu, W.S.Hsieh, "Digital watermarking using zerotree of DCT", IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol.46, No.1, pp.87-94, Feb.2000.
- [13] S.Pereira and T.Pun, "An iterative template matching algorithm using the Chirp-Z transform for digital image watermarking", Pattern Recognition, Vol.33, No.1, pp.173-175, Jan.2000.
- [14] M.Ejima and A.Miyazaki, "A wavelet based watermarking for digital images and video", IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and computer Science, Vol.E83 A, No.3, pp.532-540, March 2000.
- [15] M.J.Tsai et al., "Joint wavelet and spatial transformation for digital watermarking", IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol.46, No.1, pp.237, Feb.2000.

[۱۶] منطق فازی در MATLAB، گردآوری و تالیف مصطفی کیا، تهران: خدمات نشر کیان رایانه سبز: زانیس: خلیج فارس ۱۳۸۹.

- [17] M. Kutter, F. Jordan, and F. Bossen, "Digital signature of color images using amplitude modulation," in Proc. SPIE Electronic Imaging '97, Storage and Retrieval for Image and Video Databases V, San Jose, CA, Feb. 1997, pp. 518-526.
- [18] R.F.Olanrewaju, A.A. Aburas, O.O. Khalifah, A. Abdulla, "Image Quality Assessment of Fast Fourier Transform Domain Watermarked Image", International Conference on Rural Information and Communication Technology 2009.

lena (۲۵۶×۲۵۶) و تصویر واترمارک یک تصویر باینری ۱۶×۱۶ که به صورت تصادفی ایجاد می شود. PSNR روش [۲۴] برابر ۷۶/۲۴ می باشد که با در نظر گرفتن $k=3$ PSNR روش پیشنهادی با استفاده از تصاویر اصلی و واترمارک مقاله [۲۴] برابر ۵۷/۳۶ می باشد که همانطور که گفته شد مقادیر بالاتر از ۴۰ دسی بل تخریب بسیار کمی دارد. حملات مختلفی در [۲۴] صورت گرفته که در نمودار شکل ۲۱ با روش پیشنهادی مقایسه شده است نتایج نشان می دهد که روش پیشنهادی در برابر حملات، در شرایط مشابه مقاومت بهتری نسبت به [۲۴] دارد.

۵. نتیجه گیری

در این مقاله یک سیستم واترمارکینگ که در برابر برخی از حملات قوی است، معرفی شده است. واترمارک در دامنه تبدیل فوریه تعبیه شده که باعث مقاوم بودن در برابر حملات هندسی می گردد، زیرا تغییرات مکانی و هندسی روی فاز تاثیر می گذارد و دامنه تغییر نمی کند. همچنین با استفاده از منطق فازی و سیستم بینایی انسان، سیستم پیشنهادی توانسته است استحکام و شفافیت واترمارکینگ را به طور قابل توجهی افزایش دهد.

مراجع

- [1] I.J. Cox and M.L. Miller, "A review of watermarking and the importance of perceptual modeling," in Proc. SPIE Electronic Imaging '97, Storage and Retrieval for Image and Video Databases V, San Jose, CA, Feb. 1997.
- [2] G.C. Langelaar, "Conditional access to television service," in Wireless Communication, the Interactive Multimedia CD-ROM, 3rd ed. Amsterdam, The Netherlands: Baltzer Science, 1999.
- [3] J. Cox, M. Miller, "The first 50 years of electronic watermarking", 2001 IEEE Forth Workshop on Multimedia Signal Processing, pp. 225-230, 2002.

- [19] X. Shang, "Structural similarity based image quality assessment: pooling strategies and applications to image compression and digit recognition" M.S. Thesis, EE Department, The University of Texas at Arlington, Aug. 2006.
- [20] M. Jiansheng, L. Sukang and T. Xiaomei," A Digital Watermarking Algorithm Based On DCT and DWT,"in Proceedings of the 2009 International Symposium on Web Information Systems and Applications (WISA'09) Nanchang, P. R. China, May 22-24, 2009, pp. 104-107.
- [۲۱] عطیه زاهد، احمدرضا نقش نیلچی، "ارائه یک روش واترمارکینگ ترکیبی جدید برای تصاویر در دامنه فرکانسی"، فصلنامه علمی - پژوهشی مهندسی برق مجلسی، سال دوم، شماره اول، بهار ۱۳۸۷.
- [22] W.B. Pennebaker and J.L. Mitchell, The JPEG Still Image Data Compression *Standard*. New York: Van Nostrand, 1993.
- [23] X. Wang, W. Xie, "Adaptive Watermarking Algorithm of Image based on the Human Visual System", 2012 Second International Conference on Business Computing and Global Informatization.
- [24] Z. Jan, M. Khalid, "Digital Image Watermarking Using Multilevel Wavelet Decomposition and Human Visual System", International Conference on Information Science and Applications (ICISA 2012), Republic of Korea, May 23-25.

Archive of SID