روش واترمارکینگ نیمه‌شکننده مبتنی بر تبدیل کسینوس گسسته جهت تشخیص و بازسازی دست‌کاری در تصویر

بهروز بلوریان حقیقی[۱]، دانشجو کارشناسی ارشد، امیر حسین طاهری‌نیا[۲]، استادیار

۱- گروه کامپیوتر - دانشکده مهندسی - دانشگاه فردوسی - مشهد - ایران - b.boloorian@stu.um.ac.ir

۲- گروه کامپیوتر - دانشکده مهندسی - دانشگاه فردوسی - مشهد - ایران - taherinia@um.ac.ir

چکیده: واترمارکینگ[۱] رقمی روشی، جهت تعبیه داده‌های اضافی در محتویات رقمی است به‌طوری‌که این داده‌های اضافی که آن‌ها را واترمارک[۲] می‌نامند، غیر قابل مشاهده باشند. یکی از کاربردهای واترمارکینگ رقمی تشخیص و بازسازی ناحیه دست‌کاری[۳] شده است. روش‌های واترمارکینگ رقمی که جهت تشخیص و بازسازی ارائه شده‌اند، قادرند ناحیه دست‌کاری در یک تصویر را شناسایی و بازسازی کنند. این کاربرد واترمارکینگ رقمی، معضل تغییرات محتویات رقمی را حل می‌کند. در این مقاله طرح واترمارکینگ جهت تشخیص و بازسازی ناحیه دست‌کاری برای تصاویر فشرده و غیره فشرده ارائه شده است. در این الگوریتم، هر بلوک در تصویر شامل واترمارک بلوکی دیگر است؛ در نتیجه، یک نسخه از واترمارک، برای هر بلوک غیر همپوشان در تصویر وجود دارد. از نگاشت آشوبی[۴] جهت بهبود امنیت و مغشوش کردن بلوک‌ها استفاده شده و کلید مخفی، همراه با تصویر واترمارکینگ منتقل می‌شود. با استفاده از الگوریتم پیشنهادی، تصویر که حدود ۹۰٪ تخریب شده، با PSNR حدود ۲۰ قابل‌بازسازی است. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که الگوریتم نسبت به سایر روش‌ها، حتی هنگامی که ناحیه دست‌کاری بزرگ باشد، کارا و ایمن است و همچنین در برابر فرمت‌های رایج فشرده‌سازی مقاوم است.

واژه‌های کلیدی: واترمارکینگ، تعبیه واترمارک، استخراج واترمارک، تشخیص دست‌کاری و بازسازی، حوزه فرکانس، تبدیل گسسته کسینوسی.

Semi-Fragile Watermarking for Image Tamper Detection and Self-Recovery Based on Discrete Cosine Transform

Behrooz Boloorian Haghighi[1], M.Sc. Student, Amir Hossein Taherinia[2], Assistant Professor

1- Computer Engineering, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, b.boloorian@stu.um.ac.ir
2- Computer Engineering, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, taherinia@um.ac.ir

Abstract: Digital watermarking technique embeds additional data (watermark) into digital contents in such a way that the resulting distortion is imperceptible. Tampered detection and recovery is one of the digital watermarking applications. Tamper detection and recovery can mine the tampered region in the image and then recover it. This application can resolve the problem of digital content modification. In this paper, a novel watermarking approach is proposed for tamper detection and recovery in the compressed and uncompressed images. In this method, each block in the image contains watermark of another block. Therefore, for each non-overlapping block in the image, there exists one copy of the watermark. Here, the Chaotic map is used to improve security and confuse block. Also, a secret key is transmitted along with the watermarked image. In our algorithm, a 90% tampered image can be recovered by PSNR ≈ 20 dB. Experimental results demonstrate that the proposed method is secure and superior to the other techniques, especially when the tampered area is large and is resistant to compression.

Keywords: Watermarking, embed watermark, extract watermark, tamper detection and recovery, frequency domain, discrete Cosine.

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۵/۳/۲۳
تاریخ اصلاح: ۱۳۹۵/۰۷/۰۷
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۸/۱۵

نام نویسنده مسئول: دکتر امیر حسین طاهری نیا
نشانی نویسنده مسئول: ایران - مشهد - دانشگاه فردوسی - دانشکده فنی مهندسی

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر، تصدیق و سندیت تصاویر به یکی از شاخه‌های پردازش تصویر تبدیل شده است که این امر به‌طور اساسی حاصل رشد سریع در قدرت رایانه‌ها، فناوری اینترنت، تجارت الکترونیکی، بازار چندرسانه‌ای، برنامه تصویربرداری پزشکی و غیره است. حجم زیادی از داده‌های چندرسانه‌ای به‌راحتی از طریق اینترنت در دسترس عموم است. متأسفانه این داده‌های چندرسانه‌ای رقمی را با استفاده از ابزارهای پردازش تصویر می‌توان به‌راحتی تغییر و یا اصلاح نمود. به عبارت دیگر، ما از صحت و اعتبار رسانه دریافت شده از اینترنت مطمئن نیستیم. این در حالی است که تعداد زیادی تصاویر رقمی بر روی اینترنت روزانه مبادله می‌شوند. بنابراین، اطمینان به یکپارچگی تصاویر دریافت شده، مسئله واقعاً مهمی می‌باشد. اعتبار و صحت تصاویر رقمی را می‌توان، با استفاده از واترمارکینگ که یک روش جهت تعبیه امضای رقمی[۵] در تصویر است، تضمین نمود.

امضا رقمی یک رشته داده است که به‌صورت محسوس و نامحسوس جهت اهداف گوناگون در رسانه تعبیه می‌شود. واترمارکینگ محسوس معمولاً آرم موسسه یا پیامی است که می‌تواند همراه با تصویر اصلی تشخیص داده شود. از سوی دیگر، واترمارک نامحسوس، اطلاعات پنهان در تصویر است. واترمارک غیرقابل مشاهده می‌تواند آرم شرکت، یک پیام که نشان‌دهنده مالک تصویر، بخش‌هایی از تصویر میزبان و حتی یک رونوشت کامل از تصویر میزبان باشد، که در آینده با استفاده از طرح از پیش طراحی‌شده، برای مقاصد مختلف، از جمله تائید محتوا، احراز هویت مالک، انتقال پیام‌های مخفی و غیره استخراج شود. روش‌های سنتی واترمارکینگ نامحسوس، بر اساس عملکرد، می‌تواند به‌عنوان واترمارکینگ شکننده[۶]، نیمه شکننده[۷] و مقاوم[۸] طبقه‌بندی شود.

واترمارکینگ شکننده [۱، ۲] را می‌توان به‌راحتی توسط هر نوع عملیات پردازش تصویر مانند فشرده‌سازی، دوران، کشش، مقیاس، برش، مات و تیز کردن و دست‌کاری‌های مخرب مختلف، تغییر یا تخریب نمود. از آنجایی که واترمارکینگ شکننده حساس به همه نوع تغییرات است، معمولاً به‌منظور بررسی یکپارچگی تصاویر دریافتی استفاده می‌شود. واترمارکینگ نیمه شکننده [۳، ۴] قادر است، مکان نواحی از تصویر که اصلاح شده است را مشخص و واترمارک را از نواحی سالم باقی‌مانده استخراج کند. بنابراین، واترمارکینگ نیمه شکننده توانایی تصدیق اعتبار تصویر حتی، بعد از دست‌کاری بر روی تصویر را دارد. واترمارکینگ مقاوم [۵، ۶] جهت مقاومت در برابر حملات مختلف که هدف از بین بردن واترمارک در تصویر است، طراحی شده است. از کاربردهای واترمارکینگ مقاوم می‌توان به احراز هویت مالک و حمایت از حق تألیف اشاره نمود.

تفاوت انواع مختلف روش‌های واترمارکینگ رقمی، محدود به تشخیص و تعیین مکان ناحیه دست‌کاری شده نمی‌شود، بلکه این روش‌ها توانایی بازسازی نواحی دست‌کاری شده به کمک اطلاعات پنهان در تصویر را نیز دارند. در این کاربرد، واترمارک آرم و یا یک پیام نیست بلکه خود یک تصویر است که به آن خلاصه تصویر[۹] می‌گویند. این خلاصه به‌اندازه‌ای کاهش می‌یابد، که هنوز هم حاوی اطلاعات کافی برای نشان دادن اطلاعات تصویر اصلی می‌باشد و از طریق روش‌های مختلف در قالب واترمارک در تصویر اصلی تعبیه می‌شوند. کیفیت تصویر واترمارکینگ معمولاً به‌اندازه کافی بالا است که جایگزین تصویر اصلی در اینترنت می‌شود. در حالتی که تصویر واترمارک تخریب شده است، خلاصه تصویر جهت بازسازی تصویر استخراج می‌شوند.

روش‌های واترمارکینگ را می‌توان به دو روش مبتنی بر حوزه مکان و مبتنی بر حوزه تبدیل تقسیم نمود. در روش‌های حوزه مکان جهت تعبیه واترمارک، مقادیر مربوط به پیکسل‌های تصویر مورد استفاده قرار می‌گیرند. اما در روش‌های حوزه تبدیل ابتدا تصویر به یکی از حوزه‌های فرکانسی نظیر تبدیل فوریه، تبدیل گسسته کسینوسی و یا موجک برده شده و سپس واترمارکینگ بر روی ضرایب مربوطه انجام می‌شود. آزمایش‌ها نشان داده که واترمارکینگ در حوزه تبدیل بسیار مقاوم‌تر از حوزه مکان است. به‌طورکلی در یک سیستم واترمارکینگ ویژگی‌های زیر باید مورد توجه قرار بگیرد.

ظرفیت پنهان‌سازی: منظور حداکثر اطلاعاتی می‌باشد که می‌توان در تصویر پنهان نمود.

قابلیت مشاهده: با توجه به این ویژگی اطلاعات باید طوری درون تصویر جاسازی گردند که تغییرات بین تصویر اصلی و تصویر حامل اطلاعات توسط سیستم بصری انسان قابل‌مشاهده و درک نباشد. متأسفانه این ویژگی ظرفیت پنهان‌سازی را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

مقاومت: باید بعد از اعمال عملیات مختلف پردازش تصویر همچنان قادر به استخراج اطلاعات پنهان‌شده در تصویر باشیم. این ویژگی اصلی سیستم‌های واترمارکینگ می‌باشد.

نکته‌ای که در مورد ویژگی‌های فوق وجود دارد این است که برآورده نمودن همه ویژگی‌ها به‌صورت همزمان عملی نمی‌باشد و با توجه به کابرد موردنظر بعضی تقویت و بعضی تضعیف می‌گردند. با توجه به این ویژگی‌ها واترمارکینگ در حوزه فرکانس مقاومت بیشتر و در حوزه مکان ظرفیت بیشتری را در اختیار قرار می‌دهد.

ساختار مقاله به این شکل است که در بخش دوم به معرفی و بررسی کارهای انجام‌شده مرتبط، در بخش سوم به تشریح ملزومات اشاره شده است. در بخش چهارم به روش پیشنهادی جهت تعبیه و استخراج واترمارک پرداخته شده است. نتایج آزمایش‌ها در بخش پنجم و در بخش ششم نیز جمع‌بندی مقاله ارائه می‌شوند.

۲- پیشینه کارهای مرتبط

یکی از روش‌های واترمارکینگ برای تشخیص و بازسازی ناحیه دست‌کاری شده، واترمارکینگ رقمی سلسله مراتبی ارائه‌شده توسط لین و همکاران است [۷]. در روش لین، تشخیص ناحیه دست‌کاری بر روی یک ساختار سلسله مراتبی در ۳ سطح است. اگر بلوک دست‌کاری شده در سطح ۱ شناسایی نشد، با احتمال نزدیک به ۱ در سطح ۲ و یا سطح ۳ شناسایی می‌شود. به‌منظور بهبود امنیت، تشخیص دست‌کاری و نرخ

بازسازی، در [۷] روشی جدید بر اساس نگاشت آشوبی پیشنهاد شده است که از واترمارکینگ سلسله مراتبی و طرح تعبیه در بیت‌های کم‌ارزش استفاده نموده است. در [۸] روش واترمارکینگ نیمه بینا جهت تشخیص ناحیه دست‌کاری ارائه شده است. واترمارک با استفاده از توصیف‌گر وبر ایجاد و در بیت‌های کم‌ارزش پیکسل‌ها تعبیه می‌شود. این مقاله به کیفیت تصویر واترمارکینگ در عین نامحسوس بودن واترمارک پرداخته است، اما مقاومت بالایی در برابر حملات فشرده‌سازی، برش و چرخش ندارد. در [۹] نیز، واترمارکینگ در حوزه مکان با استفاده از بیت‌های کم‌ارزش انجام شده است. اگرچه تصویر واترمارک دارای کیفیت مناسبی است، اما در برابر فشرده‌سازی مقاومت ضعیفی دارد.

استفاده از بیت‌های کم‌ارزش، از روش‌های معمول در واترمارکینگ است. ظرفیت مناسب و عدم حساسیت چشم به تغییرات بیت کم‌ارزش از مزایای این دسته از روش‌ها است. مقاومت پایین روش‌های جاسازی در حوزه مکان در مقابل تغییرات متداول روی تصاویر مانند نویز، فشرده‌سازی و بعلاوه حملات آماری شناخته‌شده باعث شده است که در بعضی از روش‌ها از حوزه تبدیل برای تعبیه واترمارک استفاده شود.

در [۱۰] از تبدیل فوریه جهت تشخیص ناحیه دست‌کاری، استفاده شده است و در [۱۱، ۱۲] روش واترمارکینگ نیمه شکننده بر اساس تبدیل موجک ارائه شده است که قادر است تا حدی در برابر فشرده‌سازی $JPEG$ مقاومت کند، اما مشکل این روش محاسبات زیاد در مرحله تعبیه، استخراج و همچنین ضعف بازسازی در صورت بزرگ بودن ناحیه دست‌کاری می‌باشد. در [۱۳] روشی نیمه‌شکننده جهت تشخیص ناحیه دستکاری‌شده در تصاویر خاکستری پیشنهاد شده است. واترمارک تصادفی که به کمک کلید ساخته شده است در ضرایب فرکانس‌های پایین تبدیل موجک تعبیه می‌شود. در [۱۴] روشی کارا جهت تشخیص و بازسازی ناحیه تخریب‌شده بر پایه تبدیل تجزیه مقادیر تکین ارائه شده است که واترمارک را در بیت‌های کم‌ارزش پیکسل‌های تصویر تعبیه می‌کند، که این امر به‌گونه‌ای نقطه‌ضعف روش در برابر حملات فشرده‌سازی محسوب می‌شود. حوزه متداول دیگر برای درج سیگنال واترمارک، حوزه تبدیل گسسته کسینوسی است. با استفاده از تبدیل گسسته کسینوسی می‌توان یک تصویر را به باندهای شبه فرکانسی تقسیم و واترمارک را در مناسب‌ترین باند درج کرد. در [۱۵] از این تبدیل جهت واترمارکینگ استفاده شده است، اما به دلیل استفاده از بلوک‌های ۸ × ۸ کیفیت تصویر بازسازی‌شده پایین‌تر از حد انتظار است.

یکی از فرمت‌های معروف فشرده‌سازی $JPEG$ می‌باشد که به دلیل ارائه کیفیت مناسب، کاربرد زیادی دارد. به همین دلیل مقاومت واترمارک در برابر این فشرده‌سازی اخیراً مورد توجه قرار گرفته است. روش ارائه شده در [۱۵]، از جدیدترین روش‌ها جهت مقاومت در برابر فشرده‌سازی می‌باشد. در این روش برای مقاومت در برابر فشرده‌سازی $JPEG$ از فضای فرکانسی تصویر برای واترمارکینگ استفاده شده است. ابتدا به تصویر تبدیل گسسته کسینوسی اعمال و واترمارک در ضرایب آن تعبیه می‌شود، سپس عکس تبدیل انجام و تصویر به فضای مکانی برگردانده می‌شود. در این مقاله شناسایی و بازسازی ناحیه دستکاری‌شده در حوزه فرکانس با استفاده از تبدیل گسسته کسینوسی انجام می‌شود. ما روشی جهت تعبیه واترمارک و بازسازی ناحیه دستکاری‌شده ارائه می‌کنیم که دارای ۳ ویژگی تعبیه غیرقابل‌پیش‌بینی، مقاوم در برابر فشرده‌سازی و وضوح تصویر نسبتاً مناسب پس از بازسازی می‌باشد.

الگوریتم پیشنهادی

الگوریتم در سه‌گام به شرح زیر است:

۱) تعبیه واترمارک، واترمارک هر بلوک در بلوک نگاشت خود پنهان می‌شود. ۲) تشخیص بلوک دستکاری‌شده، که از طریق بیت پرچم در ۳ سطح بررسی بلوک به دست می‌آید. ۳) بازسازی بلوک دست‌کاری شده، که از طریق بازسازی بلوک‌های خطا در ۲ مرحله به‌دست می‌آید.

۳- الزامات

۳-۱- چرا دامنه فرکانس؟

اکثر شیوه‌های واترمارکینگ که از روش‌های فضای مکان بهره می‌گیرند داده‌های خود را در بیت کم‌ارزش تصویر مخفی می‌نمایند. هرچند در این روش‌ها سعی شده، با بهره‌گیری از عامل‌های تصادفی و کلیدهای مخفی، امنیت لازم جهت واترمارکینگ را بالا ببرند، ولی با بررسی‌هایی که بر روی مؤلفه‌های آماری این تصاویر انجام می‌شود، اکثر این شیوه‌ها شکسته می‌شوند. به عبارتی اگرچه بیت‌های کم‌ارزش پیکسل‌ها تصادفی به نظر می‌رسند، ولی در عمل شکل تصادفی واقعی ندارند.

به‌طور کلی می‌توان گفت، نوع چیدمان این بیت‌ها در یک تصویر، معرف بخشی از ویژگی‌های آن تصویر است و با بررسی‌های بیشتر و یافتن مؤلفه‌هایی که بتوان تغییرات آن‌ها را قبل و پس از واترمارکینگ بررسی کرد، می‌توان تغییرات رخ‌داده در بیت‌های کم‌ارزش را حدس زد. به این ترتیب می‌توان نتیجه گرفت به‌کارگیری شیوه‌های واترمارکینگ در فضای پیکسلی تصویر، امروزه با توجه به حملات موجود امن نمی‌باشد، هرچند ظرفیت واترمارکینگ در این روش‌ها معمولاً بیشتر از روش‌های واترمارکینگ در فضای فرکانسی تصویر می‌باشد. میزان ظرفیت واترمارکینگ در فضای فرکانسی تا حد زیادی به ویژگی های ظاهری تصویر و تنوع رنگ به‌کاررفته در آن بستگی دارد درحالی‌که در فضای پیکسلی، ظرفیت به تعداد پیکسل‌ها و تعداد بیت اختصاص داده‌شده به هر پیکسل جهت نمایش رنگ، ارتباط پیدا می‌کند. بر اساس مطالب ذکرشده، در این مقاله شیوه‌ایی جهت واترمارکینگ در فضای فرکانسی تصویر ارائه شده است.

از بین فرمت‌های مختلف تصویر، فرمت $JPEG$ به دلیل ویژگی خاص خود در استفاده از تبدیل فرکانسی، تبدیل کسینوس گسسته جهت فشرده‌سازی، قابلیت لازم جهت واترمارکینگ در فضای فرکانسی را دارد. علت دیگر استفاده از تصاویر $JPEG$ کاربرد فراگیر آن در ارسال

الف

۰	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۲	۲۲	۲۳
۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰	۳۱
۳۲	۳۳	۳۴	۳۵	۳۶	۳۷	۳۸	۳۹
۴۰	۴۱	۴۲	۴۳	۴۴	۴۵	۴۶	۴۷
۴۸	۴۹	۵۰	۵۱	۵۲	۵۳	۵۴	۵۵
۵۶	۵۷	۵۸	۵۹	۶۰	۶۱	۶۲	۶۳

ب

۱	۱۴	۲۷	۴۰	۵۳	۲	۱۵	۲۸
۴۱	۵۴	۳	۱۶	۲۹	۴۲	۵۵	۴
۱۷	۳۰	۴۳	۵۶	۵	۱۸	۳۱	۴۴
۵۷	۶	۱۹	۳۲	۴۵	۵۸	۷	۲۰
۳۳	۴۶	۵۹	۸	۲۱	۳۴	۴۷	۶۰
۹	۲۲	۳۵	۴۸	۶۱	۱۰	۲۳	۳۶
۴۹	۶۲	۱۱	۲۴	۳۷	۵۰	۶۳	۱۲
۲۵	۳۸	۵۱	۰	۱۳	۲۶	۳۹	۵۲

پ

۰							
۳۲							

ت

۱۴	۵۳	۱۵	۲۸	۱	۲۷	۴۰	۲
۵۴	۲۹	۵۵	۴	۴۱	۳	۱۶	۴۲
۳۰	۵	۳۱	۴۴	۱۷	۴۳	۵۶	۱۸
۶	۴۵	۷	۲۰	۵۷	۱۹	۳۲	۵۸
۴۶	۲۱	۴۷	۶۰	۳۳	۵۹	۸	۳۴
۲۲	۶۱	۲۳	۳۶	۹	۲۵	۴۸	۱۰
۶۲	۳۷	۶۳	۱۲	۴۹	۱۱	۲۴	۵۰
۳۸	۱۳	۳۹	۵۲	۲۵	۵۱	۰	۲۶

شکل ۱: الف) جدول اولیه، ب) جدول نگاشت الف، پ) دو قسمت مساوی از جدول اصلی، ت) جدول نگاشت اصلاح شده توسط $push - aside$

و ذخیره تصاویر رقمی می‌باشد. $JPEG$ به دلیل فشرده‌سازی بالا در کنار حفظ کیفیت مطلوب تصویر، از پرکاربردترین فرمت‌های تصویر بوده و اکثر تصاویر رقمی که از طریق اینترنت مبادله می‌شوند به شکل $JPEG$ ذخیره می‌شوند. علاوه بر این با توجه به کاربرد خاص واترمارکینگ و تعدد این تصاویر، عملاً بحث کنترل و بررسی احتمال وجود یا عدم وجود داده را در تصویر تحت‌الشعاع خود قرار می‌دهد و احتمال یافتن تصویری واترمارکینگ‌شده را پایین می‌آورد. ازاین‌رو مقاومت تصویر واترمارکینگ‌شده در برابر انواع حملات و الگوریتم‌های فشرده‌سازی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، لذا جهت مقاومت در برابر این قبیل حملات دامنه فرکانس و تبدیل کسینوس گسسته بهترین انتخاب است.

۳-۲- نگاشت آشوبی

تعریف‌پذیری سیستم آشوبی در حین رفتار شبه‌تصادفی آن موجب شده است که این پدیده برای رمزنگاری تصاویر بسیار موردتوجه قرار گیرد، چراکه خروجی سیستم از دید مهاجم تصادفی به‌نظر می‌رسد، درحالی‌که از دید گیرنده اصلی تعریف‌پذیر و قابل رمزگشایی می‌باشد. در حقیقت نگاشت‌های آشوبی با توجه به مقادیر تصادفی و همچنین حساسیت به شرایط اولیه، کاربرد بسیار زیادی در تأمین امنیت در سیستم‌های واترمارکینگ و رمزنگاری دارند. نگاشت آشوبی [۹] نگاشتی ساده، یک‌بعدی و غیرخطی است که در رابطه ۱ مطرح شده است.

$$X' = [F(X) = (k * X) mod\ N] + 1 \qquad (۱)$$

در رابطه ۱، $X\ ,\ X' \in [0, N-1]$ و تعداد بلوک‌ها $k \in Z - \{N\}$ کلید مخفی و $N \in Z - \{0\}$ تعداد کل بلوک‌ها در تصویر است. دنباله تولید‌شده توسط نگاشت آشوبی غیرمتناوب و غیرهمگراست.

۳-۳- جدول نگاشت

جدول نگاشت[۱۰] برای ثبت آدرس نگاشت هر بلوک در تصویر ساخته می‌شود. دو ویژگی مهم در دنباله نگاشت که با استفاده از الگوریتم انتقال یک‌بعدی ساخته می‌شوند وجود دارد. **اول**، نگاشت بلوک‌ها نیمه بالایی تصویر مکمل بلوک‌های مشابه در نیمه پایین تصویر هستند. برای مثال، شکل ۱-الف دنباله بلوک اصلی از بلوک ۸ × ۸ است. شکل ۱-ب از روی جدول شکل ۱-الف توسط معادله نگاشت تولید شده است (N = 64, K = 13). در شکل ۱-پ جدول اصلی به‌صورت افقی به دو قسمت مساوی تقسیم شده است که بلوک ۰ و ۳۲ بلوک‌های همزاد، در موقعیت مشابه در این دو بخش قرار گرفته‌اند.

با بررسی جدول نگاشت شکل ۱-ب، آدرس نگاشت بلوک ۰، ۱ است، که با $M1$ نشان داده می‌شود. آدرس نگاشت بلوک ۳۲، ۳۳ است، که با $M2$ نشان داده می‌شود. نکته که حائز اهمیت است این است که $|M1 - M2| = N/2$ برای تمام جفت بلوک‌های همزاد در جدول اصلی است. این بدان معنا است که اگر نگاشت بلوک A در یکی از این دو بخش قرار بگیرد، بلوک همزاد بلوک A ، در بخش‌های دیگر قرار می‌گیرد.

دوم، طرح انتقال یک‌بعدی، تمامی ستون‌ها را به یک موقعیت دیگر جابه‌جا می‌کند. عناصر یک ستون بعد و قبل از جابه‌جایی ثابت هستند، اما بااین‌حال جایگشت تغییر می‌کند. برای مثال، ستون صفر از شکل ۱-الف، [۵۶ ۴۸ ۴۰ ۳۲ ۲۴ ۱۶ ۸ ۰] به ستون ۳ پس از عملیات انتقال یک‌بعدی نگاشت بلوک نشان داده شکل ۱-ب، [۰ ۲۴ ۴۸ ۸ ۳۲ ۵۶ ۱۶ ۴۰] منتقل می‌شود و ستون ۱ از شکل ۱-الف، [۵۷ ۴۹ ۴۱ ۳۳ ۲۵ ۱۷ ۹ ۱] به ستون صفر در شکل ۱-ب [۲۵ ۴۹ ۹ ۳۳ ۵۷ ۱۷ ۴۱ ۱] منتقل می‌شود و غیره. بدیهی است، اگر یک بلوک دست‌کاری شود، بلوک همسایه به‌طور مشابه دست‌کاری می‌شود. بنابراین، بلوک واترمارکینگ باید با فاصله از بلوک پنهان شوند. به‌عنوان مثال، فرض کنید ستون صفر و ۱ از شکل ۱-الف به‌صورت هم‌زمان دست‌کاری شده‌اند. با توجه به جدول در شکل ۱-ب واترمارک بلوک‌های ستون صفر در ستون ۱ پنهان شده‌اند و واترمارک بلوک‌های ستون ۱ در ستون ۶ پنهان شده‌اند. اطلاعات تمام بلوک‌ها در ستون ۱ را می‌توان از واترمارک تعبیه‌شده در ستون ۶ بازسازی کرد. بااین‌حال، اطلاعات همه بلوک‌ها در ستون صفر همراه با واترمارک در ستون ۱ به‌طور هم‌زمان دست‌کاری شده‌است و ما اطلاعات تمام بلوک در ستون صفر را از دست می‌دهیم. عملیات push – aside برای اصلاح جدول نگاشت و حل این مشکل استفاده شده است.

به‌طور خلاصه، واترمارک سمت چپ تصویر، در سمت راست و واترمارک سمت راست در نیمه سمت چپ تعبیه شده‌اند. درنهایت، ستون‌ها سمت راست در شکل ۱-ت که در اصل به نیمه سمت چپ شکل ۱-الف تعلق دارند را به ترتیب برای ستون‌های شکل ۱-ب ایجاد

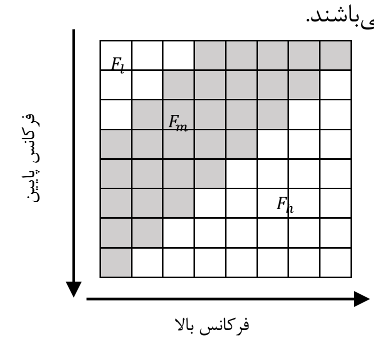
می‌کنیم و این روند را برای ستون‌های سمت چپ نیز انجام می‌دهیم. درنتیجه، جدول نگاشت طبق شکل ۱-ت اصلاح می‌شود.

۳-۴- تبدیل کسینوسی گسسته

تبدیل کسینوسی گسسته روشی است که یک سیگنال دامنه‌ی مکان را به عناصر فرکانسی تشکیل‌دهنده‌ی آن به‌صورت ضرایبی تبدیل می‌کند. به‌عبارت‌دیگر هدف از محاسبه تبدیل کسینوسی گسسته، انتقال تصویر به حوزه‌ای است که قسمت‌های مهم و غیر مهم تصویر از هم قابل جداسازی باشند. این تبدیل از مشهورترین تبدیلات خطی و یک ابزار فشرده‌سازی در پردازش سیگنال رقمی است و در فشرده‌سازی $JPEG$ استفاده شده است، به همین دلیل مقاومت خوبی در برابر حملات غیرعمدی فشرده‌سازی از خود نشان می‌دهد. این تبدیل عضوی از تبدیلات یکانی سینوسی گسسته با مقادیر حقیقی است. رابطه‌ی تبدیل کسینوسی گسسته [۱۹] ب صورت (۲) تعریف می‌شود:

$$C(u\,.\,v) = a(u)a(v)$$
$$\sum_{x=0}^{N-1}\sum_{y=0}^{N-1} f(x\,.\,y)\cos\left[\frac{(2x+1)u\pi}{2N}\right]\cos\left[\frac{(2y+1)v\pi}{2N}\right]$$
$$For\ u\,.\,v = 0.1.2.3.\dots.N-1$$
$$a(u) = \{\frac{1}{\sqrt{2}}\ for\ u\,.\,v = 0\ and\ 1\ for\ other\ u\,.\,v\,\} \qquad (۲)$$

در رابطه (۲) x، y موقعیت پیکسل در تصویر و u، v موقعیت ضرایب تبدیل یافته می‌باشند.



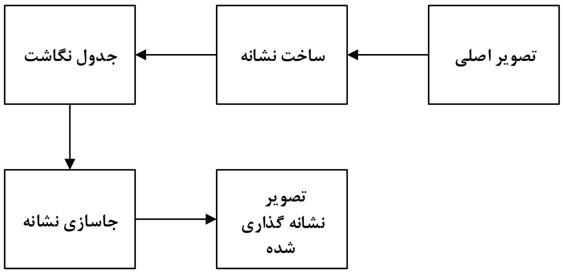
شکل ۲: تبدیل کسینوسی گسسته

شکل ۲ نواحی حاصل از اعمال تبدیل کسینوسی گسسته بر روی بلوک ۸ × ۸ را نشان می‌دهد. FL برای نشان دادن پایین‌ترین اجزای فرکانسی بلوک و FH برای نمایش بالاترین اجزای فرکانسی استفاده می‌شود. FM به‌عنوان ناحیه‌ی جاسازی مقاوم در برابر روش‌های فشرده‌سازی با اتلاف در نظر گرفته می‌شود. تغییرات ضرایب FM از ایجاد دگرگونی شدید در تصویر میزبان جلوگیری می‌کند. جاسازی در مناطق مهم تصویر دارای مزایایی است، چراکه روش‌های فشرده‌سازی نواحی کم‌اهمیت از نظر سیستم بینایی انسان را از بین می‌برند که در فضای مکان بیت کم‌ارزش نامیده می‌شود. تبدیل کسینوسی گسسته به دو دسته‌ی کلی و بر پایه بلوک‌بندی تقسیم‌بندی می‌شود. در روش تبدیل کسینوسی گسسته کلی از تصویر به‌صورت یکجا تبدیل کسینوسی گسسته گرفته می‌شود.

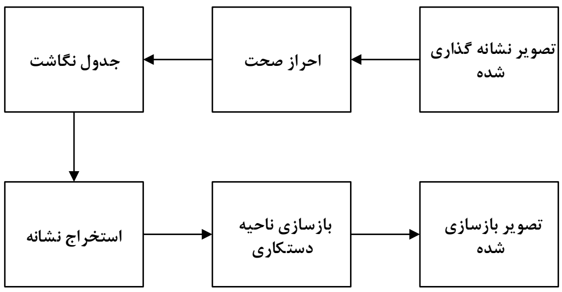
مراحل اصلی یک الگوریتم واترمارکینگ مبتنی بر بلوک‌بندی بر پایه تبدیل کسینوسی گسسته به‌صورت زیر است:

۱) بلوک‌بندی تصویر به قطعات غیر هم‌پوشان ۸ × ۸
۲) اعمال تبدیل بر روی هر کدام از بلوک‌های تصویر
۳) اعمال تعدادی از معیارهای انتخاب بلوک
۴) اعمال تعدادی از معیارهای انتخاب ضرایب تبدیل‌یافته
۵) جاسازی واترمارک با ایجاد تغییر در ضریب انتخاب‌شده
۶) اعمال تبدیل معکوس بر روی هر کدام از بلوک‌ها

روند ساخت و تعبیه واترمارک در شکل ۳ و تشخیص و بازسازی ناحیه دست‌کاری در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۳: فرآیند کلی ساخت و تعبیه واترمارک



شکل ۴: مراحل کلی تشخیص و بازسازی

۴- روش پیشنهادی

۱-۴- تعبیه واترمارک

اندازه تصاویر استفاده شده در این مقاله $M \times M$ پیکسل فرض شده است، که در آن M مضربی از چهار و اندازه هر بلوک ۴ × ۴ پیکسل است. مراحل تعبیه واترمارک به شرح زیر است:

۱) ایجاد جدول نگاشت بر اساس اندازه تصویر و کلید موردنظر.
۲) محاسبه تبدیل کسینوسی گسسته ۴ × ۴ بر روی تصویر ورودی.
۳) برای هر بلوک A با ساختار شکل ۵، مراحل زیر را انجام می‌دهیم.

DC	AC0	AC1	
AC2	AC3		
AC4			

شکل ۵ ساختار بلوک

۴) به دست آوردن ۷ بیت پرارزش ضریب DC بلوک A (شکل ۶). (بیشترین مقدار DC برای بلوک ۴ × ۴ برابر با ۱۰۲۴ می‌باشد -۱۰ بیت)

9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
$Block\ A, DC\quad save$								$ignore$	

شکل ۶: ساختار DC

۵) انتخاب نگاشت بلوک A از جدول نگاشت و آن را B بنام.

۶) چندی سازی[۱۱] ضرایب B (تقسیم بر ۳).

۷) گرد کردن ضرایب به نزدیک‌ترین عدد و محاسبه معادل دودویی.

۸) جایگزینی ۷ بیت پرارزش به‌دست آمده از مرحله ۴، همانند شکل ۷ در ضرایب AC بلوک B. ضرایب $AC1, AC3, AC4$ در دسته فرکانس‌های میانی قرار می‌گیرند؛ ویژگی که این ضرایب را از ضرایب فرکانس‌های بالا و پایین متمایز می‌کند، مقاومت در برابر فشرده‌سازی و عدم تغییر بیش‌ازحد در کیفیت تصویر می‌باشد. لذا از این ضرایب جهت نگه‌داری واترمارک استفاده شده است.

$Block\ B, AC1$							
7	6	5	4	3	DC5	DC4	DC3
$Block\ B, AC3$							
7	6	5	4	3	DC8	DC7	DC6
$Block\ B, AC4$							
7	6	5	4	3	DC9	F1	F2

شکل ۷: ساختار $AC1, AC3, AC4$

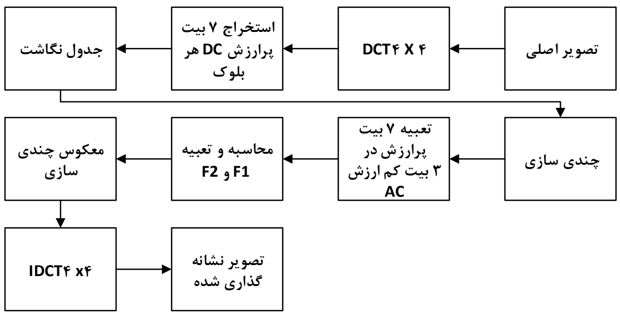
۹) تعیین بیت‌های پرچم $F1, F2$ طبق شبه کد.

If AC0 >= 0 => x1 =1 **Else** X1 = 0
If AC2 >= 0 => x2 =1 **Else** X2 = 0
X3 = Number of 1 bit in DC Mod 2, X4 = XOR (x1, x2, x3)
F1 = XOR (x2, x4), F2 = XOR (x1, x3)

۱۰) محاسبه عکس چندی‌سازی[۱۲] بلوک B (ضرب ۳).

۱۱) اعمال تبدیل کسینوسی گسسته معکوس بر روی تمامی بلوک‌ها، پس از بررسی تمام بلوک‌ها و تعبیه واترمارک.

مراحل کلی تعبیه واترمارک و به دست آوردن تصویر واترمارکینگ در شکل ۸ نشان داده شده است.



شکل ۸: مراحل کلی تعبیه واترمارک

شبه کد تعبیه واترمارک در الگوریتم ۱، نشان داده شده است.

۲-۴- تشخیص بلوک‌های دست‌کاری

تشخیص ناحیه دست‌کاری در ۳ سطح به‌صورت زیر انجام می‌شود:

تشخیص سطح ۱

برای هر بلوک غیر همپوشان B با اندازه ۴ × ۴ پیکسل در تصویر:

۱) محاسبه تبدیل کسینوسی گسسته ۴ × ۴ بر روی هر بلوک.

۲) بررسی مضرب ۳ بودن ضرایب.

۳) چندی‌سازی ضرایب (تقسیم بر ۳).

۴) بازسازی ۹ بیت از ضرایب $AC1, AC3, AC4$.

۵) محاسبه بیت $F1$ و $F2$ از واترمارک.

۶) محاسبه بیت $F1$ و $F2$ از روابط مرحله ۹ تعبیه واترمارک.

۷) نامعتبر علامت زدن بلوک درصورتی‌که هریک از بیت‌های $F1$ و $F2$ به دست آمده از مراحل قبل مخالف هم باشند.

الگوریتم ۱- تعبیه واترمارک

```
Function Embedding (input as Image, size, key)
   Set Mt to MapTable (size, key)
   Set ImageDCT to DCT(input,4)
   For each block on the ImageDCT do
     Set DC7MSB to DC Current Block
     Set Block B to Mt`s Current Block
     Quantized Block B and Round coefficients
     Set 3 LSB AC1 Block B to 3LSB DC7MSB
     Set 3 LSB AC3 Block B to 4...6LSB DC7MSB
     Set Bit2 AC4 Block B to 7 Bit DC7MSB
      If AC0 Current Block Greater Than 0 Then
            Set x1 to 1
      Else
            Set x1 to 0
      End if
      If AC2 Current Block Greater Than 0 Then
            Set x2 to 1
      Else
            Set x2 to 0
      End if
      Set x3 to DC Current Block Mod 2
      Set x4 to XOR (x1, x2, x3)
      Set F1 to XOR (x2, x4), F2 to XOR (x1, x3)
      Set Bit1 AC4 Block B to F1
      Set Bit0 AC4 Block B to F2
      Dequantized Block B
   End For
   Set output to IDCT(ImageDCT)
   Return output
End Function
```

تشخیص سطح ۲

برای هر بلوک B که پس از تشخیص سطح ۱ معتبر مشخص شده است، چهار بلوک همسایه مناسب سه‌گانه که در شکل ۹ نشان داده شده است، (N, NE, E)، (E, SE, S)، (S, SW, W)، (W, NW, N) را برر-سی می-کنیم. اگر تمام بلوک‌ها، هر یک از چهار سه‌گانه غیر معتبر مشخص شده باشند، بلوک B را غیر معتبر علامت می‌زنیم.

NW	N	NE
W	B	E
SW	S	SE

شکل ۹: چهار همسایه سه‌گانه

تشخیص سطح ۳

برای هر بلوک معتبر باقیمانده، اگر پنج یا بیش از پنج بلوک غیرمعتبر در همسایگی وجود داشته باشد، این بلوک را غیر معتبر علامت می‌زنیم. در الگوریتم ۲، شبه کد تشخیص ناحیه دست‌کاری نشان داده شده است.

۳-۴- بازسازی بلوک‌های دست‌کاری شده

پس از فرآیند تشخیص نواحی دست‌کاری شده، تمام بلوک‌های تصویر، معتبر یا غیر معتبر علامت زده می‌شوند، اما فقط بلوک‌های غیر معتبر نیاز به بازسازی دارند. طرح بازسازی دومرحله‌ای اعمال‌شده برای بازسازی ناحیه دست‌کاری شده، به شرح زیر است:

الگوریتم ۲- تشخیص ناحیه دستکاری‌شده

```
Function Detection (input as Image)
  Set ImageDCT to DCT(input,4)
  Check coefficients Block B
  For each block on the ImageDCT do
    Quantized Block Current Block
    Set 3LSBAC1 to 3LSB AC1
    Set 3LSBAC3 to 3LSB AC3
    Set 1LSBAC4 to Bit 2 AC4
    If AC0 ImageDCT Greater Than 0 Then
        Set x1 to 1
    Else
        Set x1 to 0
    End if
    If AC2 ImageDCT Greater Than 0 Then
        Set x2 to 1
    Else
        Set x2 to 0
    End if
    Set x3 to DC ImageDCT Mod 2
    Set x4 to XOR (x1, x2, x3)
    Set F1 to XOR (x2, x4), F2 to XOR (x1, x3)
    Set FF1 to Bit 1 AC4 Current Block
    Set FF2 to Bit 0 AC4 Current Block
    IF FF1 is not equal by F1 Or
     FF2 is not equal by F2 Then
      Mark Current Block as Invalid
    End If
  End For
  Set output to IDCT(ImageDCT)
  For Each Block in output Mark as Valid do
    If four triples of neighboring block are
     Invalid Then
       Mark Current Block as Invalid
       Update output
    End If
  End For
  For Each Block in output Mark as Valid do
    If There are five or more neighboring
    invalid Blocks Then
        Mark Current Block as Invalid
    End If
  End For
  Return output
End Function
```

مرحله ۱- بازسازی

برای هر بلوک غیر همپوشان B با اندازه ۴ × ۴ پیکسل که غیر معتبر مشخص شده است:

۱) بلوک نگاشت B از جدول نگاشت را پیدا و آن را $\acute{B}$ بنام.

۲) اگر $\acute{B}$ معتبر بود، پس بلوک کاندید است، به مرحله بعد برو، در غیر این صورت بلوک را رها کن.

۳) بررسی مضرب ۳ بودن ضرایب.

۴) چندی‌سازی ضرایب بلوک $\acute{B}$ (تقسیم‌بر ۳).

۵) بازسازی ۹ بیت اطلاعات واترمارک از بلوک $\acute{B}$ و استخراج ۷ بیت پرارزش DC تعبیه‌شده.

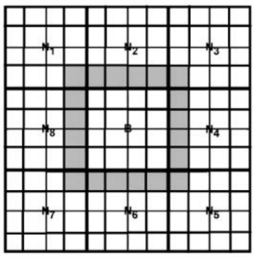
۶) ۷ بیت پرارزش به‌دست آمده از مرحله قبل را در ۷ بیت پرارزش DC بلوک غیر معتبر جایگزین و ۳ بیت کم‌ارزش باقیمانده را با صفر پر کن و بلوک حاصل را به‌عنوان بلوک معتبر علامت بزن.

۷) محاسبه عکس چندی سازی بلوک $\acute{B}$ (ضرب ۳).

۸) درنهایت، اعمال تبدیل معکوس کسینوسی بر روی تمامی بلوک‌ها و به‌دست آوردن تصویر بازسازی‌شده.

مرحله ۲- بازسازی

بلوک‌های غیر معتبر باقی‌مانده پس از مرحله ۱، همان‌طور که در شکل ۱۰ نشان داده شده است، با پیکسل‌های اطراف بازسازی می‌شود. بلوک مرکزی B در شکل، بلوک در حال پردازش و بلوک ۴ در ۴ $N1 \sim N8$ بلوک همسایه B هستند. فقط پیکسل‌های تیره‌تر در اطراف بلوک B برای مرحله ۲ بازسازی استفاده می‌شود.



شکل ۱۰: پیکسل‌های استفاده شده جهت بازسازی در مرحله ۲

شبه‌کد بازسازی ناحیه دست‌کاری در الگوریتم ۳، نشان داده شده است.

الگوریتم ۳ بازسازی ناحیه دست‌کاری

```
Function Recovery (input as Image, size, key)
Set Mt to MapTable (size, key)
Set ImageDCT to DCT(input,4)
For Each Block On the ImageDCT Mark as Invalid
  do
     Set Block B to Mt`s Current Block
  If B is Valid Then
     Check coefficients Block B
     Quantized Block B
     Set DC7MSB by 3LSB AC1 and
     3LSB AC3 and Bit 2 AC4 Current Block
     Set 7MSB DC Current Block to DC7MSB
      Set 3LSB DC Current Block to Zero
      Mark Block Current Block as Valid
      Dequantized Block B
   Else
      Continue
   End If
End For
Set output to IDCT(ImageDCT)
For each block on the output mark as Invalid
   do
     Set Current Block to
      Calculate neighboring blocks B
End For
Return output
End Function
```

۵- نتایج آزمایش‌ها

سه پارامتر برای ارزیابی الگوریتم پیشنهادی ارائه شده است. اولین پارامتر، کیفیت تصویر بازسازی شده پس از انواع دست‌کاری بر روی تصویرهای مختلف است. دومین پارامتر تعداد بلوک‌های دست‌کاری که پس از مرحله ۱ بازسازی ناحیه دست‌کاری، بازسازی نشده است و در آخر کیفیت تصویر واترمارکینگ است. در جدول ۱ میانگین زمان محاسباتی برای تصاویر مرجع جهت ایجاد و تعبیه واترمارک و همچنین تشخیص ناحیه دست‌کاری و بازسازی در هنگام تخریب ۵۰ درصد گزارش شده است. آزمایش‌ها بر روی سیستم با پردازنده Core i5 – 520M انجام شده است. زمان محاسبه محدود و عملیات دودویی ساده، منجر به اجرا روش پیشنهادی در دستگاه‌هایی که دارای توان پایین هستند، می‌شود. در جدول ۲ مقایسه بین کیفیت تصویر واترمارکینگ و بازسازی شده روش پیشنهادی و [۹، ۱۲ و ۲۱] ارائه شده است. در مقایسه با [۱۲، ۲۱] روش پیشنهادی برتری مطلق دارد، منتهی با [۹] که در حوزه مکان، واترمارکینگ را انجام می‌دهد کمی کاهش کیفیت دیده می‌شود، اما ازآنجایی‌که روش پیشنهادی در برابر حمله فشرده‌سازی مقاوم است، قابل توجیه است. جهت ارزیابی مقاومت واترمارک جاسازی‌شده برای بازسازی و خطا در تشخیص ناحیه دست‌کاری در روش پیشنهادی، بر روی تصویر واترمارکینگ شده حملات مختلفی مانند فشرده‌سازی، اضافه کردن نویز نمک فلفل و تغییرات روشنایی با استفاده از [۲۶] که یکی از محک‌های حوزه واترمارکینگ می‌باشد، اعمال شده و نتایج آن در جدول ۳ نشان داده شده است. در جدول ۴، ۵ نیز مقاومت روش پیشنهادی در برابر فشرده‌سازی $JPEG$ و PNG تحت دست‌کاری‌های مختلف نشان داده شده است. عملکرد روش پیشنهادی در برابر حملات مختلف از قبیل حذف با ابعاد مختلف، اضافه کردن شی به تصویر و فشرده‌سازی بر روی تصاویر رایج پردازش تصویر در اشکال ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴ و ۱۵ گزارش شده است. نتایج به‌روشنی نشان می‌دهد که روش ارائه‌شده در برابر حملات فشرده‌سازی انعطاف‌پذیر است. مادامی‌که اندازه ناحیه دست‌کاری شده کمتر یا مساوی ۵۰ درصد است، نرخ بازسازی بلوک‌ها در مرحله ۱ نزدیک به ۹۰ درصد می‌باشد، درنتیجه ما می‌توانیم بلوک‌های دست‌کاری شده را توسط اطلاعات پنهان‌شده در تصویر، حتی اگر نیمی از تصویر دست‌کاری تغییر یافته، بازسازی کنیم.

جدول ۱: میانگین زمان محاسباتی برای تصاویر مرجع

زمان / تصویر	ساخت و تعبیه واترمارک	تشخیص ناحیه دست‌کاری	بازسازی ناحیه دست‌کاری
Lena	۵/۷۴	۱/۴۲	۲/۲۳
Baboon	۵/۷۰	۱/۴۵	۲/۱۴
Zelda	۵/۶۶	۱/۴۰	۲/۱۹
Airplane	۵/۶۹	۱/۴۸	۲/۱۲

جدول۲: اعمال روش پیشنهادی بر روی تصاویر مرجع (اندازه تصویر ۵۱۲ × ۵۱۲ و ناحیه دست‌کاری ۲۰۰ × ۲۰۰ پیکسل، موقعیت مرکز)

#	تصویر	تصویر واترمارکینگ قبل از دست‌کاری پیشنهادی		تصویر واترمارکینگ قبل از دست‌کاری [۹]	تصویر واترمارکینگ قبل از دست‌کاری [۱۲]		تصویر واترمارکینگ قبل از دست‌کاری [۲۱]		تصویر بازسازی روش پیشنهادی		مقایسه ناحیه دست‌کاری و بازسازی روش پیشنهادی	
		PSNR	SSIM	PSNR	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM
۱	Lena	۳۶/۲۹	۰/۹۶	۳۸/۲۱	۳۵/۰۲	۰/۸۷	۳۴/۶۷	۰/۹۵	۳۰/۵۳	۰/۹۵	۲۳/۷۹	۰/۶۵
۲	Peppers	۳۶/۶۶	۰/۹۶	۳۸/۴۲	–	–	۳۴/۵۱	۰/۹۵	۳۱/۲۸	۰/۹۴	۲۵/۲۱	۰/۷۲
۳	Airplane	۳۶/۰۹	۰/۹۶	–	۳۵/۱۶	۰/۸۶	۳۲/۸۱	۰/۹۱	۲۸/۳۸	۰/۹۲	۲۱/۳۷	۰/۶۶
۴	Zelda	۳۶/۴۱	۰/۹۶	۳۸/۲۱	–	–	–	–	۳۱/۹۰	۰/۹۳	۲۶/۶۰	۰/۷۰
۵	Boat	۳۶/۵۱	۰/۹۷	۳۸/۵۷	۳۵/۱۶	۰/۹۰	–	–	۲۸/۷۱	۰/۹۳	۲۱/۶۹	۰/۵۶
۶	Barbara	۳۶/۵۲	۰/۹۷	۳۸/۱۹	–	–	–	–	۳۰/۲۵	۰/۹۴	۲۳/۷۸	۰/۶۲
۷	Baboon	۳۷/۱۳	۰/۹۸	۳۸/۳۱	۳۵/۱۳	۰/۹۵	۲۷/۰۱	۰/۹۰	۳۱/۶۳	۰/۹۵	۲۵/۷۰	۰/۶۲

جدول ۳: عملکرد الگوریتم در مقابل حملات مختلف بدون دست‌کاری (تصویر $Lena$ اندازه ۵۱۲X۵۱۲)

نوع حمله	تصویر واترمارکینگ شده تحت حمله		روش پیشنهادی			روش [۲۲]	روش [۲۳]	روش [۲۴]	روش [۲۵]
			واترمارک بازسازی استخراج‌شده		اشتباه- مثبت	واترمارک بازسازی استخراج‌شده	واترمارک بازسازی استخراج‌شده	واترمارک بازسازی استخراج‌شده	واترمارک بازسازی استخراج‌شده
	PNSR	SSIM	PSNR	SSIM	FP	PNSR	PSNR	PSNR	PSNR
JPEG Qf = ۹۰	۵۳/۳۸	۰/۹۹	۳۳/۹۵	۰/۹۷	۱۷	۲۰/۵	۲۰/۱	۲۱/۰	۲۲/۳
JPEG Qf = ۸۰	۴۵/۸۸	۰/۹۹	۲۳/۷۰	۰/۸۸	۱۳۲	۲۰/۵	۱۱/۸	۱۸/۲	۲۰/۳
JPEG Qf = ۷۰	۴۱/۹۱	۰/۹۹	۲۱/۶۴	۰/۷۳	۲۵۹	۲۰/۵	۱۰/۳	۱۷/۲	۱۲/۲
JPEG Qf = ۶۰	۳۹/۲۹	۰/۹۹	۲۰/۶۹	۰/۶۱	۴۳۳	۲۰/۵	۱۰/۳	۱۷/۱	۹/۱
JPEG Qf = ۵۰	۳۷/۵۴	۰/۹۹	۱۸/۳۴	۰/۵۷	۵۱۳	۲۰/۵	۱۰/۵	۱۶/۳	۸/۳
نمک فلفل ۰/۰۱	۲۸/۴۷	۰/۹۱	۲۰/۳۵	۰/۸۹	۸۴	N/A	N/A	N/A	N/A
نمک فلفل ۰/۰۵	۲۵/۲۹	۰/۸۴	۱۷/۲۲	۰/۶۹	۱۷۶	N/A	N/A	N/A	N/A
نمک فلفل ۰/۰۱، JPEG Qf =۷۰	۲۸/۵۶	۰/۹۱	۱۷/۳۰	۰/۷۰	۳۲۷	N/A	N/A	N/A	N/A
روشن کردن (۴۰+)	۱۸/۵۸	۰/۹۶	۳۹/۶۳	۰/۹۹	۱۴	N/A	N/A	N/A	N/A
تاریک کردن (۴۰-)	۱۸/۵۹	۰/۹۱	۲۹/۵۴	۰/۹۷	۳۰	N/A	N/A	N/A	N/A

جدول ۴: عملکرد الگوریتم در مقابل فشرده‌سازی PNG (تصویر $Lena$ اندازه ۵۱۲X۵۱۲)

تعداد بلوک‌های بازسازی‌شده (مرحله ۲)	تعداد بلوک‌های بازسازی‌شده (مرحله ۱)	تعداد بلوک‌های دست‌کاری، تشخیص داده شده	تعداد بلوک‌های دست‌کاری شده	قبل از بازسازی		موقعیت	اندازه ناحیه دست‌کاری شده
				SSIM	PSNR		
۲۰	۲۳۶	۲۵۶	۲۵۶	۰/۹۶	۳۴/۲۹	Top	۵۱۲×۸
۰	۲۵۶	۲۵۶	۲۵۶	۰/۹۶	۳۴/۲۹	Left	۸×۵۱۲
۴۴۱۱	۳۷۸۱	۸۱۹۲	۸۱۹۲	۰/۸۳	۱۹/۲۵	Top	۵۱۲×۲۵۶
۰	۸۱۹۲	۸۱۹۲	۸۱۹۲	۰/۹۱	۲۸/۴۶	Left	۲۵۶×۵۱۲
۲۲	۶۰۳	۶۲۵	۶۲۵	۰/۹۵	۳۲/۳۰	Center	۱۰۰×۱۰۰
۳۸۰	۲۱۲۰	۲۵۰۰	۲۵۰۰	۰/۹۳	۳۰/۱۹	Center	۲۰۰×۲۰۰
۷۰۲۹	۳۹۷۱	۱۰۰۰۰	۱۰۰۰۰	۰/۷۵	۲۳/۲۰	Center	۴۰۰×۴۰۰

جدول ۵: عملکرد الگوریتم در مقابل فشرده‌سازی ($JPEG$ تصویر $Lena$ اندازه ۵۱۲X۵۱۲)

تعداد بلوک‌های بازسازی‌شده (مرحله ۲)	تعداد بلوک‌های بازسازی شده (مرحله ۱)	تعداد بلوک‌های دست‌کاری، تشخیص داده‌شده	تعداد بلوک‌های دست‌کاری شده	قبل از بازسازی		موقعیت	اندازه ناحیه دست‌کاری شده
				SSIM	PSNR		
۱۹	۳۴۸	۳۶۷	۲۵۶	۰/۹۶	۳۴/۱۰	Top	۵۱۲×۸
۲	۳۶۷	۳۶۹	۲۵۶	۰/۹۶	۳۴/۱۲	Left	۸×۵۱۲
۴۴۵۱	۳۸۰۳	۸۲۵۴	۸۱۹۲	۰/۸۳	۱۹/۲۳	Top	۵۱۲×۲۵۶
۱۶۴	۸۰۸۳	۸۲۴۷	۸۱۹۲	۰/۹۰	۲۸/۱۶	Left	۲۵۶×۵۱۲
۲۹	۷۰۶	۷۳۵	۶۲۵	۰/۹۵	۳۲/۸۰	Center	۱۰۰×۱۰۰
۴۰۸	۲۱۸۶	۲۵۹۴	۲۵۰۰	۰/۹۳	۳۰/۰۶	Center	۲۰۰×۲۰۰
۶۰۹۱	۳۹۵۷	۱۰۰۴۸	۱۰۰۰۰	۰/۷۴	۲۳/۱۲	Center	۴۰۰×۴۰۰

الف) تصویر اصلی

ب) تصویر واترمارکینگ PSNR:۳۶/۲۹ SSIM:۰/۹۶

پ) تصویر دست‌کاری شده ۲۰۰X۲۰۰ پیکسل

ت) ناحیه دست‌کاری تصویر واترمارکینگ شده

ث) ناحیه دست‌کاری تشخیص داده‌شده

ج) بازسازی مرحله ۱

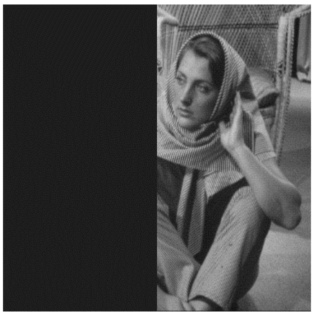
چ) بازسازی مرحله ۲ PSNR:۳۰/۵۳ SSIM:۰/۹۵۱

ح) ناحیه بازسازی‌شده (مقایسه با ت) PSNR:۲۳/۷۹ SSIM:۰/۶۵

شکل ۱۱: نتایج واترمارکینگ، تشخیص و استخراج واترمارک در تصویر $Lena$

الف) تصویر اصلی

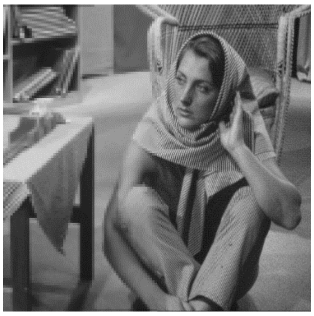
ب) تصویر واترمارکینگ
PSNR:۳۶/۵۲ SSIM:۰/۹۷



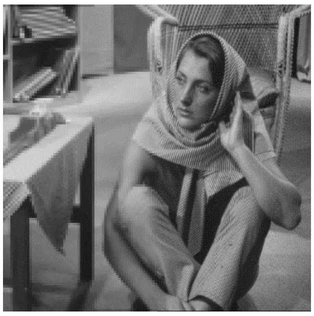
پ) تصویر دست‌کاری شده ۲۵۶X۵۱۲ پیکسل

ت) ناحیه دست‌کاری تصویر واترمارکینگ شده

ث) ناحیه دست‌کاری تشخیص داده‌شده



ج) بازسازی مرحله ۱



چ) بازسازی مرحله ۲
PSNR:۲۸/۳۴ SSIM:۰/۹۲

ح) ناحیه بازسازی‌شده (مقایسه با ت)
PSNR:۲۵/۸۸ SSIM:۰/۷۳

شکل ۱۲: نتایج واترمارکینگ ، تشخیص و استخراج واترمارک در تصویر *Barbara*

الف) تصویر اصلی

ب) تصویر واترمارکینگ
PSNR:۳۵/۱۲ SSIM:۰/۹۸

پ) تصویر دست‌کاری شده **۲۵۰X۲۵۰** پیکسل

ت) ناحیه دست‌کاری تصویر واترمارکینگ شده

ث) ناحیه دست‌کاری تشخیص داده‌شده

ج) بازسازی مرحله ۱

چ) بازسازی مرحله ۲
PSNR:۳۰/۲۷ SSIM:۰/۹۳

ح) ناحیه بازسازی‌شده (مقایسه با ت)
PSNR:۲۱/۱۴ SSIM:۰/۷۱

شکل ۱۳: نتایج واترمارکینگ، تشخیص و استخراج واترمارک در تصویر *Boat*

الف) تصویر دست‌کاری شده

ب) ناحیه دست‌کاری تشخیص داده‌شده

ت) بازسازی مرحله ۱

ث) بازسازی مرحله ۲
PSNR:۳۲/۸۰ SSIM:۰/۹۵

ج) تصویر دست‌کاری شده

چ) ناحیه دست‌کاری تشخیص داده‌شده

ح) بازسازی مرحله ۱

خ) بازسازی مرحله ۲
PSNR:۳۳/۴۵ SSIM:۰/۹۵

شکل ۱۴: نتایج مقاومت در برابر جعل کپی در تصویر $Lena$

الف) تصویر واترمارکینگ شده

ب) تصویر دست‌کاری شده ۲۰۰X۲۰۰ پیکسل

پ) ناحیه دست‌کاری تشخیص داده‌شده PNG

ت) ناحیه دست‌کاری تشخیص داده‌شده JPEG

ث) بازسازی مرحله PNG۱

ج) بازسازی مرحله ۱ JPEG

چ) بازسازی مرحله ۲ PNG
PSNR:۳۰/۴۶ SSIM:۰/۹۳

ح) بازسازی مرحله ۲ JPEG
PSNR:۳۰/۳۸ SSIM:۰/۹۳

شکل ۱۵: نتایج مقاومت در برابر فشرده‌سازی PNG و $JPEG(QF = 70)$ در تصویر $Lena$

$SSIM$، $PSNR$ و جلوه‌های بصری ثابت می‌کند که روش ارائه‌شده نه‌تنها دقت بسیار بالا در تشخیص ناحیه دست‌کاری شده دارد بلکه این نواحی را با نرخ نسبتاً بالا بازسازی می‌کند. برای تصویر $Lena$ (۲۰۰ x ۲۰۰ دست‌کاری)، $PSNR$ تصویر بازسازی‌شده ۳۰/۵۳ می‌رسد، که یک مقدار قابل‌توجه است. درنهایت از جلوه‌های بصری درمی‌یابیم که توزیع پیکسل‌ها به‌صورت مساوی انجام شده است که این امر منجر به دریافت جزییات بیشتر از تصاویر می‌شود.

۶-جمع‌بندی

در این مقاله، یک طرح مؤثر واترمارکینگ در دامنه فرکانس برای تشخیص ناحیه دست‌کاری تصویر و بازسازی مطرح شده است. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد روش ارائه‌شده، انعطاف‌پذیری بیشتری در برابر فشرده‌سازی، برش، پوشش، حذف و حملات جایگزین دارد. این طرح به دلیل، استفاده از تنها دو بیت برای تشخیص ناحیه دست‌کاری شده و همچنین یک کلید مخفی برای بازسازی و عدم نیاز به وجود تصویر اصلی، کارآمد است. در روش پیشنهادی اطلاعات واترمارک در ضرایب فرکانس‌های پایین و میانی تبدیل کسینوسی تعبیه شده است که ضعف روش‌های دامنه مکان در برابر حملات فشرده‌سازی را رفع می‌کند. این الگوریتم به جهت استفاده از بلوک‌ها ۴ × ۴ پیکسل دارای $PSNR$ نسبتاً مناسب برای تصویر واترمارکینگ و بازسازی شده است و همچنین ضعف روش‌های دامنه مکان در برابر حملات ذکرشده در بالا را، رفع نموده و در برابر فرمت‌های رایج فشرده‌سازی انعطاف‌پذیر می‌باشد. درنتیجه بر اساس مزایای توصیف‌شده، این طرح واقعاً کارآمد و مؤثر در تشخیص ناحیه دست‌کاری و بازسازی در تصویر است.

مراجع

[1] G. Friedman, "*The trustworthy digital camera: restoring credibility to the photographic image*," IEEE Transactions on Consumer Electronics, vol. 39, no. 4, pp. 905-910, 1993.

[2] C. Lu, "*Mean quantization fragile watermarking for image authentication*," Optical Engineering, vol.40, no.7, p.1396, 2001.

[3] C. Lin and S. Chang, "*Semi fragile watermarking for authentic-citing JPEG visual content*," Security and Watermarking of Multimedia Contents II, vol. 3971, pp. 140-151, 2000.

[4] J. Fridrich, "*A hybrid watermark for tamper detection in digital images*," Signal Processing and Its Applications, vol. 1, pp. 301-304, 1999.

[5] J. Zhao, "*Embedding Robust Labels into Images for Copyright Protection*," Proceedings of the International Congress on Intellectual Property Rights for Specialized Information, Knowledge and New Technologies, pp. 242-251, 1995.

[6] H. Mark Liao, C. Sze, Sh. Huang and CS. Lu, "*Cocktail watermarking for digital image protection*," IEEE Trans.Multimedia, vol. 2, no. 4, pp. 209-224, 2000.

[7] P. Lin, C. Hsieh and P. Huang, "*A hierarchical digital watermarking method for image tamperdetection and recovery*," Pattern Recognition, vol. 38, no. 12, pp. 2519-2529, 2005.

[8] L. Laouamer, M. AlShaikh, L. Nana and AC. Pascu, "*Robust Watermarking Scheme and Tamper Detection Based On Threshold Versus Intensity*," Journal of Innovation in Digital Ecosystems, vol. 2, no. 1, pp.1-12., 2016.

[9] T. Lee and S. Lin, "*Dual watermark for image tamper detection and recovery*," Pattern Recognition, vol. 41, no. 11, pp. 3497-3506, 2008.

[10] T. Jing, X. Li and F. Zhang, "*Image tamper detection algorithm based on Radon and Fourier-Mellin transform*," IEEE International Conference on Information Theory and Information Security, pp. 212-215, 2010.

[11] R. Chamlawi, A. Khan and I. Usman, "*Authentication and recovery of images using multiple watermarks*," Computers & Electrical Engineering, vol. 36, no. 3, pp. 578-584, 2010.

[12] A. Phadikar, S. Maity and M. Mandal, "*Novel wavelet-based QIM data hiding technique for tamper detection and correction of digital images*," Journal of Visual Communication and Image Representation, vol. 23, no. 3, pp. 454-466, 2012.

[13] Al-Otum and H. Munawer, "*Semi-Fragile Watermarking for Grayscale Image Authentication and Tamper Detection Based On an Adjusted Expanded-Bit Multiscale Quantization-Based Technique*," Journal of Visual Communication and Image Representation, vol. 25, no. 5, pp.1064-1081, 2016.

[14] S. Dadkhah, AA. Manaf, Y. Hori, AE. Hassanien and S. Sadeghi, "*An Effective SVD-Based Image Tampering Detection and Self-Recovery Using Active Watermarking*," Signal Processing: Image Communication, vol. 29, no. 10, pp. 1197-1210, 2016.

[15] M. Iwata, T. Hori, A. Shiozaki and A. Ogihara, "*Digital watermarking method for tamper detection and recovery of JPEG images*," International Symposium On Information Theory & Its Applications, pp. 309-314, 2010.

[16] X. Tong, Y. Liu, M. Zhang and Y. Chen, "*A novel chaos-based fragile watermarking for image tampering detection and self-recovery*," Signal Processing: Image Communication, vol. 28, no. 3, pp. 301-308, 2013.

[17] P. Singh and R. Chadha, "*A survey of digital watermarking techniques, applications and attacks*," International Journal of Engineering and Innovative Technology, vol. 2, no. 9, 2013.

[18] C. Wu and Y. Shih, "*A Simple Image Tamper Detection and Recovery Based on Fragile Watermark with One Parity Section and Two Restoration Sections*," Optics and Photonics Journal, vol. 3, no. 02, pp. 103-107, 2013.

[19] J. Chen and C. Chen, "*Image Tamper Detection Scheme Using QR Code and DCT Transform Techniques*," International Journal of Computer, Consumer and Control, vol. 1, no. 2, 2012.

[20] C. Wang, RH. Hwang, TS. Chen and HY. Lee, "*Detecting and Restoring System of Tampered Image Based on Discrete Wavelet Transformation and Block Truncation Coding*," 19th International Conference on Advanced Information Networking and Applications vol. 1, 2005.

[21] O. Benrhouma, H. Houcemeddine and Safya Belghith, "*Tamper Detection and Self-Recovery Scheme by DWT Watermarking*," Nonlinear Dynamics, vol. 79, no. 3, pp. 1817-1833, 2014.

[22] C. Li, A. Zhang, Z. Liu, L. Liao and D. Huang, "*Semi-Fragile Self-Recoverable Watermarking Algorithm Based On Wavelet Group Quantization and Double Authentication*," *Multimedia tools and applications*, vol. 74, no. 23, pp.728-739, 2016.

[23] SB. Solorio and K. Nandi, "*Secure fragile watermarking method for image authentication with improved tampering localization and self-recoverable capabilities*," vol. 91, no. 4, pp.728-739, 2011.

[24] MJ. Tsai and C. Chien, "*Authentication and recovery for wavelet-based semifragile watermarking*," *Optical Engineering*, vol. 47, no. 6, p. 067005, 2008.

[25] JW. Wang, SG. Lian and Y. Dai, "*Secure multimedia watermarking authentication in wavelet domain*," Journal of Electronic Imaging, vol. 17, no. 3, pp. 033010:1-033010:12, 2008.

[26] F. Petitcolas, Watermarking Stirmark, http://petitcolas.net/-fabien/watermarking/stirmark/, 2012.

زیرنویس‌ها

[1] Watermarking

[2] Watermark

[3] Tampered

[4] Chaotic Mapping
[5] Digital Signature
[6] Fragile
[7] Semi-fragile
[8] Robust
[9] Image Digest
[10] Map Table
[11] Quantized
[12] Dequantized