

## نشانه‌گذاری دوگانه کور و نیمه‌شکننده مبتنی بر تبدیل کسینوسی گسسته جهت تشخیص و بازسازی ناحیه دستکاری در تصاویر رنگی و خاکستری

بهروز بلوریان حقیقی<sup>۱</sup> و امیرحسین طاهری‌نیا<sup>۲</sup>

### چکیده

نشانه‌گذاری تصاویر رقمی یکی از موضوع‌های رایج در بحث امنیت اطلاعات و جلوگیری از سوء استفاده از تصاویر در دنیای اینترنت و ارتباطات می‌باشد. یکی از کاربردهای نشانه‌گذاری رقمی احراز صحت و بازسازی ناحیه دستکاری شده است. این روش‌ها قادرند با استفاده از اطلاعاتی که در رسانه تعبیه شده است، پی به صحت و یکپارچگی تصویر دریافت شده ببرند. در این مقاله روشی جهت شناسایی و بازسازی ناحیه دستکاری در تصاویر رنگی و خاکستری ارائه شده است، که با قابلیت تعبیه دوگانه نشانه در تصویر، فرصت دومی جهت بازسازی ناحیه دستکاری فراهم می‌کند. از طرفی به دلیل بهره‌گیری از تبدیل کسینوسی گسسته مقاومت خوبی در برابر فشرده‌سازی دارد. جهت تامین امنیت نشانه تعبیه شده از نگاشت آشوبی با کلید مخفی که همراه با تصویر ارسال می‌شود، استفاده شده است. در روش پیشنهادی برای جلوگیری از حملات رونوشت مکان، اطلاعاتی که جهت تشخیص بلوک دستکاری در تصویر تعبیه می‌شود، به کلیدی که مختص همان بلوک است وابسته می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که روش پیشنهادی توانایی شناسایی درست ناحیه دستکاری تحت فشرده‌سازی با ضریب کیفیت بیشتر از ۳۰ به معنی کاهش خطا و همچنین بازسازی در صورت تخریب نیمه از تصویر با شاخص شباهت ساختاری حدود ۰/۹۹ را دارد.

### کلیدواژه‌ها

نشانه‌گذاری، تعبیه نشانه، استخراج نشانه، تشخیص دستکاری و بازسازی، تبدیل کسینوسی گسسته.

### ۱ مقدمه

بدین ترتیب بهره‌گیری از آثار رقمی بدون رعایت حق‌نشر، دستکاری اسناد و استفاده از اسناد جعلی ابعاد تازه‌تری یافته است. یکی از روش‌های مناسب جهت مقابله با این اعمال، نشانه‌گذاری رقمی می‌باشد. به عبارت دیگر، روش‌های نشانه‌گذاری به جهت احراز صحت<sup>۱</sup> و تایید یکپارچگی تصاویر رقمی و رسانه مرتبط ارائه شده‌اند.

با رشد فناوری رقمی طی دهه‌های گذشته، ارسال و ذخیره رسانه‌های الکترونیکی افزایش یافته است، چرا که نسخه‌برداری از داده‌ها بدون هیچ کاهش کیفیت و با هزینه‌ای بسیار اندک امکان‌پذیر شده است.

این مقاله در تیرماه ۱۳۹۵ دریافت، در اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۶ بازنگری و در خردادماه همان سال پذیرفته شد.

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد، گروه کامپیوتر، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد.

رایانامه: [b.bolourian@stu.um.ac.ir](mailto:b.bolourian@stu.um.ac.ir)

<sup>۲</sup> گروه کامپیوتر، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد.

رایانامه: [taherinia@um.ac.ir](mailto:taherinia@um.ac.ir)

نویسنده مسئول: امیرحسین طاهری‌نیا

<sup>۱</sup>Authentication

## Archive of SID

آن را نشانه‌گذاری غیرکور<sup>۱۱</sup> می‌نامند. این روش متفاوت زیادی دارد؛ اما کاربرد آن محدود است. اگر به داده اصلی جهت تشخیص نیاز نباشد، اما به اطلاعاتی جانبی برای استخراج نیاز داشته باشیم، آن را نشانه‌گذاری نیمه‌کور<sup>۱۲</sup> می‌نامند. اگر نیازی به هیچ داده‌ای برای استخراج نباشد آن را نشانه‌گذاری کور<sup>۱۳</sup> می‌نامند، که کاربرد گسترده‌ای نسبت به سایر روش‌ها دارد.

روش‌های نشانه‌گذاری دارای ۳ ویژگی اصلی ظرفیت<sup>۱۴</sup>، نامحسوس بودن<sup>۱۵</sup> و مقاومت می‌باشند.

**ظرفیت و گنجایش اطلاعات** - حداکثر میزان اطلاعات که می‌توان در سیگنال جاسازی نمود، نشانه دهنده ظرفیت سیستم نشانه‌گذاری [۸] می‌باشد. به عبارت دیگر، تعداد بیت‌های نشانه در یک پیام را بار مفید<sup>۱۶</sup> و حداکثر تکرار بار مفید در یک تصویر ظرفیت الگوریتم نشانه‌گذاری را مشخص می‌کند. ظرفیت زیاد معمولاً منجر به کاهش مقاومت و یا نامحسوس بودن نشانه می‌شود.

**نامحسوس بودن (غیر قابل مشاهده بودن)** - طبق [۸] نشانه باید طوری در رسانه تعبیه شود، که قابل شناسایی با چشم و گوش نباشد، تنها باید از طریق پردازش‌های خاص و یا توسط مراجع قضایی، قابل شناسایی و استخراج باشد. کاربرد چنین نشانه‌گذاری در محتوا و یا احراز هویت مالک و برای تشخیص رونوشت غیرمجاز است. بنابراین ارائه و توسعه روش‌های نشانه‌گذاری به صورت نامحسوس از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

**مقاومت** - مقاومت [۸] به توانایی حفظ نشانه تعبیه شده در رسانه، بعد از انواع عملیات پردازش تصویر و حملات گوناگون، اشاره دارد. الگوریتم نشانه‌گذاری باید در برابر عملیات پردازش سیگنال، تبدیل هندسی و حملات مخرب مقاوم باشد. دو مساله عمده برای تضمین مقاومت نشانه وجود دارد، اولاً نشانه باید پس از انتقال هنوز هم در رسانه وجود داشته باشد؛ دوماً باید امکان استخراج صرفاً برای دریافت‌کننده فراهم باشد.

**مصالحه<sup>۱۷</sup> بین ویژگی‌ها** - یک اصل اساسی در روش‌های نشانه‌گذاری، استخراج افزونگی<sup>۱۸</sup> در تصاویر برای جاسازی اطلاعات نشانه می‌باشد. نشانه‌گذاری این امکان را با جاسازی اطلاعات اضافی در بخش‌های زائد تصویر محیا می‌کند. علاوه بر این، همانند شکل ۱ افزایش مقاومت نشانه به طور معمول نیاز به تحریف بیشتر تصویر و افزایش افزونگی دارد. این عمل باعث کاهش غیرقابل مشاهده بودن

نشانه‌گذاری رقمی فرآیندی جهت تعبیه داده‌های نشانه<sup>۱</sup> در تصویر میزبان است. نشانه یک الگو از بیت‌ها است که در داده‌های چند رسانه‌ای به منظور کاربردهای مختلف تعبیه می‌شود. یک مثال ساده از یک نشانه رقمی را می‌توان توسط یک امضا یا مهر روی یک تصویر به منظور شناسایی مالکیت آن تصویر دانست. روش‌های نشانه‌گذاری از جنبه‌های مختلف به شرح زیر طبقه‌بندی می‌شوند.

**مقاومت<sup>۲</sup>** - از این دیدگاه روش‌های نشانه‌گذاری را می‌توان به سه دسته مقاوم<sup>۳</sup>، نیمه شکننده<sup>۴</sup> و شکننده<sup>۵</sup> تقسیم نمود. از نشانه‌گذاری مقاوم [۱] و [۲]، اغلب برای ثبت اطلاعات حق تالیف آثار رقمی و برای ممانعت از تخریب نشانه تعبیه شده توسط تغییرات رایج تصویر، عملیات پردازش تصویر و فشرده‌سازی با اتلاف استفاده می‌شود. در این روش‌ها، نشانه در برابر دستکاری‌ها، حملات مختلف هندسی و غیر هندسی تخریب نشده و قابل شناسایی است. نوع نیمه شکننده [۳] و [۴] قادر به تحمل درجه‌ای از تغییرات یک تصویر نشانه‌گذاری، مانند افزودن نویز حاصل از فشرده‌سازی با اتلاف می‌باشد. در نهایت روش‌های شکننده [۵] و [۶] به دلیل خاصیت شکنندگی و عدم مقاومت در برابر حملات، در کاربردهایی مثل احراز هویت و حفاظت از سندیت محتوا که می‌بایست بسیار حساس به تغییرات سیگنال باشد، استفاده می‌شود.

**با توجه به دامنه** - روش‌های نشانه‌گذاری در دو حوز مکان و فرکانس [۷] انجام می‌شود. درحوزه مکان اطلاعات نشانه در بیت‌های کم ارزش<sup>۱</sup> پیکسل‌های تصویر تعبیه می‌شود و درحوزه فرکانس نشانه در ضرایب فرکانس جاسازی می‌شود. کارایی روش‌های حوزه فرکانس به دلیل مقاومت در برابر حملات به مراتب بیشتر است.

**قابل رویت بودن<sup>۷</sup>** - اگر نشانه در رسانه تعبیه شده قابل رویت باشد، مانند نشانه‌گذاری بر روی کاغذ یا آرم شبکه‌های تلویزیونی که در گوشه‌ای از تصویر تلویزیون قابل مشاهده است، نشانه‌گذاری را قابل مشاهده<sup>۸</sup> می‌نامند؛ درمقابل روشی که اطلاعات را بصورت پنهان در تصویر درج می‌کند، که می‌توان آن را توسط نرم‌افزار طراحی شده واکشی نمود، نشانه‌گذاری نامرئی<sup>۹</sup> [۷] می‌نامند.

**براساس روند تشخیص<sup>۱۰</sup>** - نحوه استخراج نشانه از تصاویر [۷] به ۳ دسته تقسیم می‌شود. اگر برای استخراج نیاز به تصویر اصلی باشد،

<sup>1</sup>Watermark

<sup>2</sup>Robustness

<sup>3</sup>Robust

<sup>4</sup>Semi-Fragile

<sup>5</sup>Fragile

<sup>6</sup>Least Significant Bits

<sup>7</sup>Perceptivity

<sup>8</sup>Visible

<sup>9</sup>Invisible

<sup>10</sup>Detection Process

<sup>11</sup>Non-Blind

<sup>12</sup>Semi-Blind

<sup>13</sup>Blind

<sup>14</sup>Capacity

<sup>15</sup>Imperceptibility

<sup>16</sup>Data Payload

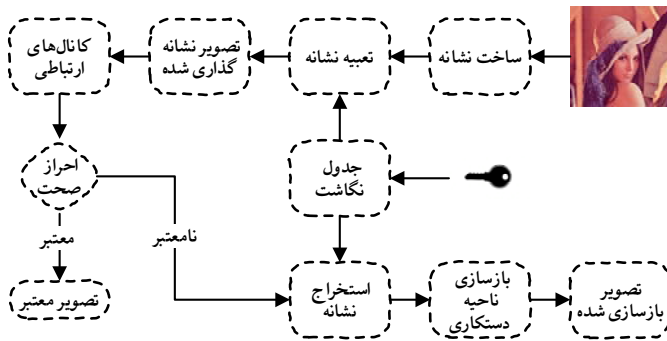
<sup>17</sup>Trade Off

<sup>18</sup>Redundancy

## Archive of SID

برخلاف روش‌های مبتنی بر نشانه، روش‌های مبتنی بر امضا هیچ اطلاعات اضافی در سیگنال تعبیه نمی‌کنند، در نتیجه کیفیت تصویر که یکی از چالش‌های اصلی این حوزه است، کاهش نمی‌یابد. این روش‌ها ابتدا با استفاده از الگوریتم‌های استخراج ویژگی، مجموعه ویژگی از تصویر استخراج می‌کنند و سپس توسط روش‌های رمزنگاری امنیت آن را تضمین و جهت احراز یکپارچگی تصویر آن را همراه تصویر اصلی برای گیرنده ارسال می‌کنند. ضعف اصلی این روش‌ها ارسال داده اضافی جهت اعتبار سنجی می‌باشد.

معماری پایه، روش‌های مبتنی بر نشانه در شکل ۲ نشان داده شده است. به طور کلی این روش‌ها به ۳ واحد اصلی ساخت و تعبیه نشانه، احراز صحت و در نهایت بازسازی تقسیم می‌شوند. از طرفی، برای جلوگیری از تخریب نشانه و غیرقابل پیش‌بینی بودن مکان جاسازی شده، معمولا امنیت توسط نگاشت‌های آشوبی تامین می‌شود.



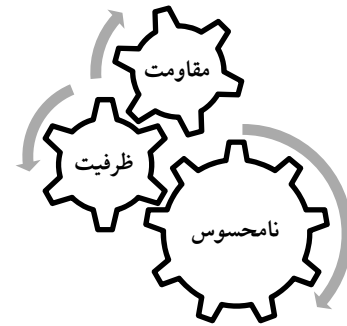
شکل ۲ فرآیند کلی ساخت، تعبیه نشانه، احراز صحت و بازسازی روش-های شناسایی دستکاری

ساختار مقاله به این شکل است که در بخش دوم به معرفی و بررسی کارهای انجام شده مرتبط و در بخش سوم به تشریح ملزومات اشاره شده است. در بخش چهارم به روش پیشنهادی جهت تعبیه و احراز صحت و بازسازی نشانه پرداخته شده است. نتایج آزمایش‌ها در بخش پنجم و در بخش ششم نیز جمع بندی مقاله ارائه می‌شوند.

## ۲ پیشینه کارهای مرتبط

در [۱۱] یک روش تشخیص و بازسازی ناحیه دستکاری در تصاویر رقمی توسط لین و همکاران ارائه شده است. در این روش، جهت تشخیص دستکاری، از یک ساختار سلسله مراتبی در ۳ سطح استفاده شده است. اگر بلوک دستکاری شده در مرحله اول مشخص نشد، به احتمال زیاد در سطوح بعد یافت می‌شود. علاوه بر این، به منظور افزایش امنیت از نگاشت آشوبی<sup>۶</sup> استفاده شده است، که از

و به احتمال زیاد منجر به حذف در برابر حملات مخرب می‌شود. بنابراین، در طراحی روش‌های نشانه‌گذاری باید مصالحه بین ویژگی‌ها برقرار باشد.



شکل ۱ مصالحه بین مقاومت، ظرفیت، نامحسوس

یکی از کاربردهای نشانه‌گذاری رقمی، احراز صحت و یکپارچگی تصویر می‌باشد. روش‌های که در این حوزه [۹] ارائه می‌شوند با دو هدف تشخیص ناحیه دستکاری<sup>۱</sup> شده و بازسازی<sup>۲</sup> آن ناحیه سعی می‌کنند تا صحت تصویر دریافتی را تضمین و در صورت تخریب آن را به نحوی بازسازی کنند. دستکاری به معنی اضافه یا حذف کردن شی یا هرگونه تخریب دیگر در تصویر می‌باشد. این دستکاری‌ها اغلب از دید ناظر انسانی قابل تشخیص نیست.

همان طور که گفته شد، این روش‌ها معمولا توانایی بازسازی ناحیه تخریب شده را نیز دارند؛ از این رو نسخه کاهش یافته تصویر که بازنمایی کننده تصویر اصلی است و به آن ویژگی تصویر<sup>۳</sup> می‌گویند، در تصویر اصلی جاسازی می‌شود تا در صورت نیاز، جهت ترمیم تصویر استفاده شود. در این روش‌ها درج نشانه به‌گونه‌ای صورت می‌گیرد که تصویر میزبان علاوه بر اینکه کم‌ترین تغییر از نظر سیستم بینایی انسان داشته باشد، بتواند از نشانه در برابر انواع دستکاری‌ها محافظت کند.

روش‌های پیشنهاد شده در این حوزه، به دو دسته [۱۰] مبتنی بر نشانه‌گذاری<sup>۴</sup> و مبتنی بر امضا<sup>۵</sup> تقسیم می‌شوند. در روش‌های مبتنی بر نشانه، نشانه در تصویر با حداقل تغییر در کیفیت تصویر درج می‌شود. این روش‌ها مقاومت نشانه را در برابر حملات رایج مانند فشرده‌سازی با اتلاف تضمین می‌کنند. هرچند که این روش‌ها سعی دارند تا حداقل تخریب را در کیفیت تصویر داشته باشند، اما ایراد اصلی که به این روش‌ها وارد است، تاثیر بر روی کیفیت تصویر می‌باشد.

<sup>1</sup>Tamper

<sup>2</sup>Recovery

<sup>3</sup>Feature Image

<sup>4</sup>Watermarking Based

<sup>5</sup>Signature Based

<sup>6</sup>Chaotic Map

## Archive of SID

و روش دوم نشانه را در ضرایب میانی تبدیل کسینوسی گسسته پنهان می‌کند. در مرحله احراز صحت، ابتدا نشانه استخراج شده و به تصویر خاکستری تبدیل می‌شود و سپس با تصویر نشانه‌گذاری شده جهت وجود تخریب مقایسه می‌شود. شباهت دو تصویر با معیار شاخص شباهت ساختاری اندازه‌گیری می‌شود. در بازسازی، از شبکه عصبی جهت بهبود کیفیت تصویر بازسازی در فرایند نیم-تن استفاده می‌شود.

در [۲۱] و [۲۲] روش نشانه‌گذاری در حوزه مکان پیشنهاد شده است. در [۲۱] نشانه در سه بیت کم ارزش تصویر جایگزین می‌شود. در این روش، از یک سیستم آشوبی جدید جهت مغشوش نمودن بلوک‌ها استفاده شده است. بطور مشابه همانند [۱۳]، دو نسخه از نشانه جهت بازسازی ناحیه دستکاری شده در تصویر تعبیه می‌شود. در [۲۲]، نشانه جاسازی شده در هر بلوک وابسته به نرمی و بافتی بلوک می‌باشد. به این ترتیب، برای نواحی بافتی بیشتر و نواحی صاف اطلاعات کمتری جهت بازسازی در نظر گرفته می‌شود. در [۲۳] نیز روش نشانه‌گذاری شکننده در حوزه مکان پیشنهاد شده است. در این روش برای ساخت نشانه از تبدیل کسینوسی گسسته استفاده شده است. همانطور که قبلاً نیز اشاره شد، روش‌های حوزه مکان به شدت در برابر حملات شکننده می‌باشند. در [۲۴] روشی نیمه شکننده، جهت تشخیص دستکاری مبتنی بر نگاهت آرنولد کت<sup>۳</sup> و تبدیل موجک ارائه شده است. در این روش، تقریب ضرایب فرکانس‌های پایین هر بلوک در فرکانس‌های بالا تعبیه می‌شود. از طرفی، در مرحله تعبیه نشانه هر بلوک توسط نگاهت مربوطه به جهت بهبود امنیت مغشوش می‌شود. در [۲۵] نشانه‌گذاری دوگانه جهت تشخیص و بازسازی تصویر مبتنی بر تبدیل کسینوسی پیشنهاد شده است. اصلی‌ترین نقطه ضعف روش‌های [۲۴] و [۲۵] کیفیت پایین تصویر نشانه‌گذاری شده می‌باشد.

در این مقاله روش نشانه‌گذاری دوگانه به منظور بهبود کیفیت تصویر بازسازی شده و فراهم نمودن فرصت دومی جهت بازسازی، در صورت تخریب نشانه اول و همچنین مقاومت در برابر فشرده‌سازی با اتلاف و حمله رونوشت مکان<sup>۴</sup> مبتنی بر تبدیل کسینوسی گسسته [۲۶] پیشنهاد شده است. از طرفی، جهت جلوگیری از تخریب نشانه، غیرقابل پیش‌بینی بودن مکان جاسازی شده و تأمین امنیت از نگاهت‌های آشوبی [۲۷] استفاده شده است. نتایج آزمایش‌ها نشان دهنده، ایمنی و تأثیر بهتر در تشخیص و بازسازی ناحیه دستکاری شده در هنگام اعمال فشرده‌سازی با ضریب کیفیت بیش از ۳۰ می‌باشد. بطور کلی روش پیشنهادی ارائه شده نسبت به سایر روش‌ها در شش عامل زیر برتری مطلق دارد. (۱) نرخ بالا در تشخیص ناحیه دستکاری در حضور فشرده‌سازی با ضریب کیفیت

نشانه‌گذاری سلسله مراتبی و جاسازی در بیت‌های کم‌ارزش استفاده نموده است. در [۱۲] روش نشانه‌گذاری نیمه‌بینا جهت تشخیص ناحیه دستکاری ارائه شده است. نشانه با استفاده از توصیف‌گر ویر ساخته می‌شود و در بیت‌های کم ارزش پیکسل‌ها تعبیه می‌شود. این مقاله به کیفیت تصویر نشانه‌گذاری در عین نامحسوس بودن نشانه پرداخته است، اما مقاومت بالایی در برابر حملات فشرده‌سازی، برش و چرخش ندارد. در [۱۳] نیز، نشانه‌گذاری در حوزه مکان با استفاده از بیت‌های کم ارزش انجام شده است. اگرچه تصویر نشانه دارای کیفیت مناسبی است، اما در برابر فشرده‌سازی مقاومت ضعیفی دارد. در [۱۴] از تبدیل فوریه جهت تشخیص ناحیه تخریب، استفاده شده است و در [۱۵] روش نشانه‌گذاری نیمه‌کور و نیمه-شکننده جهت تشخیص و بازسازی ناحیه دستکاری، ارائه شده است. در این روش دو نشانه مستقل از زیر باندهای موجک ساخته می‌شوند. نوع نشانه اول، دودویی است که جهت تضمین یکپارچگی تصویر استفاده می‌شود و دومی که به آن خلاصه تصویر گفته می‌شود، جهت بازسازی ضرایب تغییر یافته تصویر استفاده می‌شود. در [۱۶] روش نشانه‌گذاری نیمه شکننده برپایه تبدیل موجک ارائه شده است که تا حدی در برابر فشرده‌سازی PEG مقاوم است، اما ضعف این روش محاسبات زیاد در مرحله تعبیه، استخراج و بازسازی در صورت بزرگ بودن ناحیه دستکاری می‌باشد. در [۱۷] روشی نیمه شکننده جهت تشخیص ناحیه دستکاری شده در تصاویر خاکستری پیشنهاد شده است. نشانه تصادفی که به کمک کلید ساخته شده است در ضرایب فرکانس‌های پایین تبدیل موجک تعبیه می‌شود.

در [۱۸] روشی کارا جهت تشخیص و بازسازی ناحیه تخریب شده بر پایه تبدیل تجزیه مقادیر تکین<sup>۱</sup> ارائه شده است، که نشانه را در بیت‌های کم ارزش پیکسل‌های تصویر تعبیه می‌کند، که این امر به گونه‌ای نقطه ضعف روش در برابر حملات فشرده‌سازی محسوب می‌شود. حوزه متداول دیگر برای درج سیگنال نشانه، حوزه تبدیل کسینوسی گسسته است. با استفاده از این تبدیل می‌توان یک تصویر را به فرکانس‌های بالا، پایین و میانه تقسیم و نشانه را در مناسب‌ترین ضریب تعبیه نمود. در [۱۹]، یکی از جدیدترین روش‌ها جهت مقاومت در برابر فشرده‌سازی ارائه شده است. ابتدا به تصویر تبدیل کسینوسی گسسته اعمال و نشانه در ضرایب آن تعبیه می‌شود، سپس معکوس تبدیل انجام و تصویر به فضای مکانی برگردانده می‌شود.

در [۲۰] از دو روش جهت تشخیص و بازسازی ناحیه دستکاری استفاده شده است. در هر دو روش، نسخه نیم تن<sup>۲</sup> تصویر خاکستری که تقریبی از تصویر اصلی است، به عنوان نشانه در دامنه تبدیل مورد نظر تعبیه می‌شود. روش اول نشانه را در زیر باند تبدیل موجک تعبیه

<sup>3</sup> Arnold Cat Map

<sup>4</sup> Copy Move

<sup>1</sup> Singular Value Decomposition

<sup>2</sup> Halftone

$$I \ominus S = \{w | (S) \subseteq I, w \in I\}$$

(۲)

تعریف می شود.

### ۳-۲-۳ بستن و بازکردن<sup>۵</sup>

اعمال عملگر بستن بر روی تصویر دودویی موجب می شود تا حفره-های کوچک تصویر انتخاب شوند. به عنوان مثال ممکن است در یک ناحیه دستکاری شده در تصویر، روش نشانه گذاری، تعدادی اندک شمار از بلوک های دستکاری شده در این ناحیه را معتبر ارزیابی کند، برای نامعتبر علامت زدن این بلوک ها از این عملگر طبق رابطه ۳

$$I \circ S = (A \oplus S) \ominus S \quad (۳)$$

استفاده می شود. در نهایت اعمال عملگر بازکردن طبق رابطه ۴

$$I \circ S = (A \ominus S) \oplus S \quad (۴)$$

بر روی تصویر دودویی موجب می شود تا اتصالات باریک تصویر حذف شده و تصویری آرام تر به دست آید.

### ۳-۳ مدل رنگی YCbCr

این فضای رنگی بیشتر در تصاویر ویدئوی و فشرده سازی کاربرد دارد. برای مثال فشرده سازی JPEG ابتدا تصویر را به این مدل رنگی تبدیل می کند و سپس عملیات فشرده سازی را انجام می دهد. در این مدل رنگی Y روشنایی و Cb و Cr رنگ را نشان می دهند. نحوه تبدیل

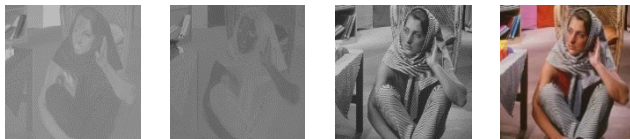
RGB به YCbCr و بالعکس طبق روابط ۵ و ۶

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.183 & 0.614 & 0.062 \\ -0.101 & -0.338 & 0.439 \\ 0.439 & -0.399 & -0.040 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (۵)$$

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.164 & 0 & 1.793 \\ 1.164 & -0.213 & -0.534 \\ 1.164 & 2.115 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} \quad (۶)$$

محاسبه شود [۱۹]. نتیجه اعمال مدل رنگی YCbCr بر تصویر Barbara در شکل ۳ نشان داده شده است.

الف ب ب پ ت



شکل ۳ الف) تصویر اصلی (ب) روشنایی پ، ت) رنگ

### ۴ روش پیشنهادی

الگوریتم پیشنهادی دارای سه واحد اصلی به شرح زیر می باشد. (۱) واحد ساخت و تعبیه نشانه که وظیفه ساخت نشانه ۱، ۲ و نشانه احراز صحت از تصویر اصلی را بر عهده دارد و در گام بعد نشانه ها را در ضرایب تبدیل کسینوسی گسسته [۲۶] جاسازی می کند.

بیش از ۳۰، ۲) توانایی نشانه گذاری در تصاویر خاکستری و رنگی، (۳) فرصت دوم برای بازسازی ناحیه دستکاری در صورت تخریب نشانه اول، (۴) مقاومت در برابر حمله رونوشت مکان، (۵) وضوح مناسب تصویر نشانه گذاری و بازسازی شده، (۶) رمزنگاری نشانه احراز صحت هر بلوک به جهت غیرقابل پیش بینی بودن.

### ۳ الزامات

#### ۳-۱ تطبیق بیت های کم ارزش

الگوریتم تطبیق بیت های کم ارزش که به روش  $\pm 1$  نیز شهرت دارد، به گونه ای طراحی شده است که در هیستوگرام تصویر نشانه گذاری جفت مقدار ایجاد نشود. روش کار به این صورت است که اگر بیتی که قرار است، در تصویر تعبیه شود مشابه کم ارزش ترین بیت ضریب باشد، ضریب بدون تغییر باقی می ماند، در غیر این صورت یک واحد به ضریب اضافه شده یا از آن کم می شود. در این مقاله برای تعبیه بیت های نشانه در ضرایب از این روش استفاده شده است، تا حداقل تغییر در ضریب ایجاد شود.

#### ۳-۲ عملیات ریختشناسی<sup>۱</sup>

این عملگرها غیرخطی و بر روی تصاویر دودویی کاربرد دارند و اجزا ساختاری آنها می تواند هر شکلی داشته باشد. ۳ عملگر مهم این حوزه در زیر مطرح شده است.

#### ۳-۲-۱ گسترش<sup>۲</sup>

همان طور که از نام عملگر مشخص است، این عملگر باعث گسترش نقاط ۱، در تصویر می شود. در عملگر گسترش نیز از یک پنجره همانند فیلتر کردن استفاده می شود. در اینجا به جای پنجره به آن عنصر ساختمانی گفته می شود که مقادیر آن ۱ یا صفر است. گسترش تصویر I با عنصر ساختمانی S به صورت رابطه ۱

$$I \oplus S = \{w | reflection(S) \cap I \neq Null, w \in I\} \quad (۱)$$

تعریف می شود.

#### ۳-۲-۲ فرسایش<sup>۳</sup>

این عملگر باعث سایش نقاط ۱ در تصویر می شود. همانند عملگر گسترش، در عملگر سایش نیز از یک عنصر ساختمانی استفاده می کنیم که مقادیر آن ۱ یا صفر باشد. به ازای هر پیکسل، مرکز عنصر ساختمانی را روی پیکسل قرار داده و عملگر سایش را با توجه به مقادیر عنصر ساختمانی در مورد آن پیکسل اعمال می کنیم. سایش تصویر I با عنصر ساختمانی S به صورت رابطه ۲

<sup>1</sup>Morphology

<sup>2</sup>Dilation

<sup>3</sup>Structure Element

<sup>4</sup>Erosion

<sup>5</sup>Closing and Opening

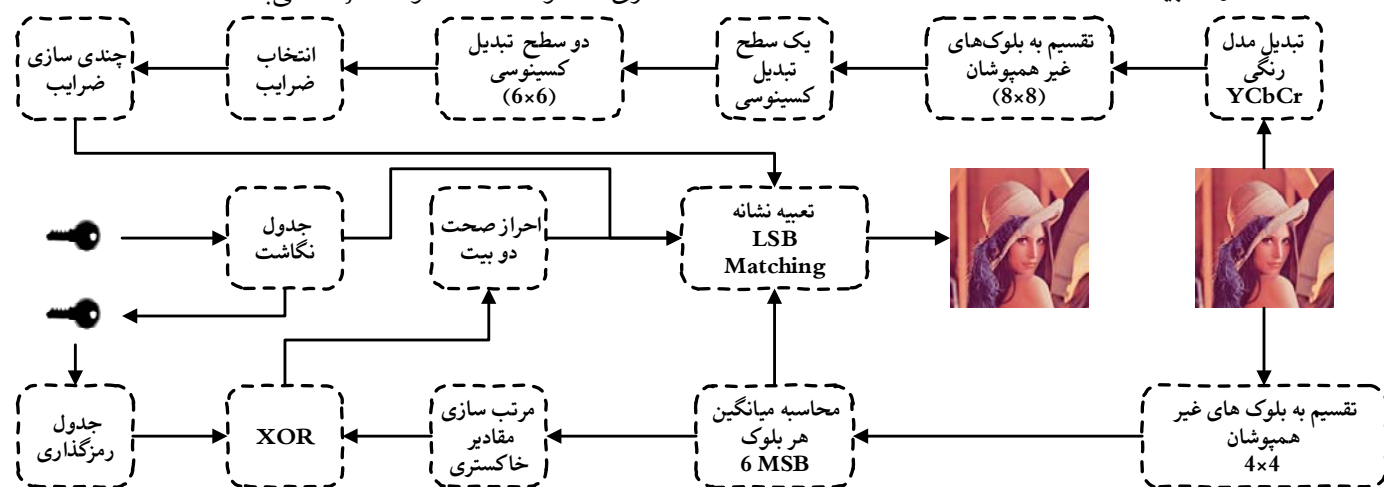
## Archive of SID

اندازه تصاویر استفاده شده در این مقاله  $N \times M$  پیکسل فرض شده است، که در آن  $M$  و  $N$  مضربی از ۸ هستند. مراحل ساخت و تعبیه نشانه همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده به شرح زیر است.

## ۴-۱-۱ ساخت نشانه

## ۴-۱-۱-۱ ساخت نشانه ۱ و ۲ جهت بازسازی

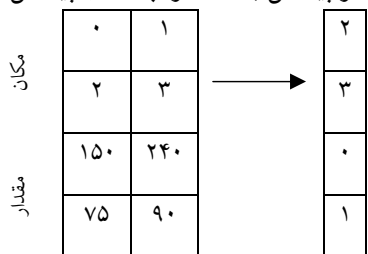
(۱) ابتدا تصویر را به بلوک‌های  $4 \times 4$  غیرهمپوشان تقسیم و آن را  $A(i, j)$  می‌نامیم.  $i$  و  $j$  نشان دهنده موقعیت بلوک در تصویر نشانه-گذاری شده و  $1 < i < M$  و  $1 < j < N$  می‌باشد.



شکل ۴ فرآیند کلی ساخت و تعبیه نشانه روش پیشنهادی

(۲) نشانه ساخت شده در مرحله ساخت نشانه بازسازی را به بلوک‌های  $2 \times 2$  غیرهمپوشان تقسیم می‌کنیم و آن را  $C(m, n)$  می‌نامیم که  $m$  و  $n$  نشان دهنده موقعیت بلوک در نشانه  $Watermark_{Recovery}(k, l)$  می‌باشد  $(1 < m < \frac{k}{2}$  و  $1 < n < \frac{l}{2})$ .

(۳) برای هر بلوک  $C(m, n)$  مقادیر پیکسل‌ها را مرتب کرده و موقعیت پیکسل آن را در  $Index(m, n, 4)$  قرار می‌دهیم. موقعیت هر پیکسل در بلوک  $C(m, n)$  در بازه  $[0, 3]$  در نظر گرفته می‌شود. شکل ۶ نشان دهنده موقعیت هر پیکسل بعد از مرتب‌سازی پیکسل‌ها می‌باشد.



شکل ۶ نحوه محاسبه مکان هر پیکسل بعد از مرتب‌سازی  $C(m, n)$

(۴) جدول نگاشت براساس کلید داده شده برای هر بلوک، موقعیت جدیدی پیشنهاد می‌کند. به عنوان نمونه با در نظر گرفتن کلید با مقدار ۱۳، برای بلوک  $6 \times 4$  در یک تصویر  $8 \times 8$  مقدار ۲۶ ایجاد می‌کند. این عدد برای هر بلوک در تصویر به نوع دودویی تبدیل شده و ۸ بیت کم ارزش آن به صورت شکل ۷ در  $Binary(m, n, 4)$  قرار می‌گیرد. اختصاص یک جدول رمز برای هر بلوک همانند زیر منجر به

(۲) واحد احراز صحت و یکپارچگی تصویر دریافتی، که تصویر نشانه‌گذاری شده را از لحاظ دستکاری و تخریب بررسی می‌کند و در صورت نیاز به ترمیم و بازسازی، پس از شناسایی دقیق مکان‌های تخریب شده، نتیجه را در اختیار واحد ۳ قرار می‌دهد.

(۳) واحد بازسازی که با استفاده از نشانه‌های ۱ و ۲ و در صورت نیاز پیکسل‌های همسایه سعی به ترمیم ناحیه تخریب شده می‌کند.

## ۴-۱ ساخت و تعبیه نشانه

موقعیت پیکسل‌ها در بلوک  $A(i, j)$  در شکل ۵ نشان داده شده است.


شکل ۵ موقعیت پیکسل‌ها در بلوک  $A(i, j)$ 

(۲) برای هر بلوک  $A(i, j)$  میانگین پیکسل‌ها را بدست آورده و آن را  $B(k, l)$  می‌نامیم، که  $k$  و  $l$  نشان دهنده موقعیت بلوک در تصویر میانگین یا تصویر نشانه  $1 < k < \frac{M}{4}$  و  $1 < l < \frac{N}{4}$  می‌باشند. محاسبه میانگین بلوک  $A(i, j)$  با استفاده از رابطه ۷

$$Watermark_{Recovery}(k, l) = \quad (7)$$

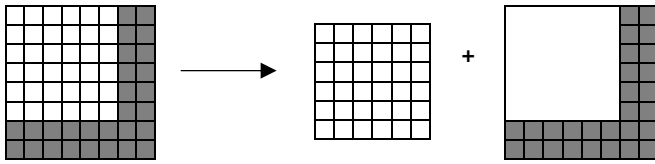
$$\frac{[A(i, j)_1 + A(i, j)_2 + A(i, j)_3 + \dots + A(i, j)_{16}]}{16}$$

انجام می‌شود.

## ۴-۱-۱-۲ ساخت نشانه جهت احراز صحت

(۱) ابتدا جدول نگاشت  $[26]$  را با استفاده از کلید و در نظر گرفتن اندازه تصویر ایجاد می‌کنیم. اگر اندازه تصویر  $N \times M$  پیکسل فرض شود، اندازه جدول نگاشت برابر  $\frac{N}{8} \times \frac{M}{8}$  خواهد بود.

پس از جاسازی نشانه، کمترین تغییر ممکن بر روی تصویر ایجاد شود.



شکل ۹ حذف ضرایب فرکانس بالا

۵) دو سطح تبدیل  $Dct$  بر روی  $Dct1\_D(m,n)$  اعمال می شود و حاصل آن در  $Dct3\_D(m,n)$  قرار می گیرد. آزمایش ها نشان می دهد که تبدیل  $Dct$  مرتبه اول مقاومت خوبی در برابر فشرده سازی نشان نمی دهد و کیفیت تصویر پایین می باشد و در مرتبه دوم کیفیت تصویر بهبود می یابد، اما همچنان مقاومت پایین می باشد. در مرتبه سوم کیفیت و مقاومت به مراتب از دو حالت قبل بهتر است، در نتیجه نشانه در ضرایب  $Dct$  در سطح سوم تعبیه می شود.

۶) ضرایب  $Dct3\_D(m,n)$  را طبق شکل ۱۰ چندی سازی<sup>۲</sup> می کنیم. برای این کار ضرایب  $Dct3\_D(m,n)$  را تقسیم بر ضرایب آرایه چندی سازی<sup>۲</sup> نموده حاصل را در  $Dct3\_DQuantized(m,n)$  قرار می دهیم. ضرایب چندی سازی به گونه ای انتخاب شده اند که منجر به حداکثر مقاومت در برابر حملات و حداقل کاهش کیفیت در تصویر شود.

۳	۵	۵	۵	۵	۳
۵	۵	۵	۵	۳	۳
۵	۵	۵	۳	۳	۱
۵	۵	۳	۳	۱	۱
۵	۳	۱	۱	۱	۱
۳	۳	۱	۱	۱	۱

شکل ۱۰ ضرایب آرایه چندی سازی

۷) دو بیت نشانه احراز صحت  $Watermark_{Authenticate}(m,n)$  را در دو  $LSB$  ضریب  $DC$ ،  $Dct3\_DQuantized(m,n)$  با استفاده از روش تطبیق بیت های کم ارزش قرار می دهیم. (از  $DC$  برای تعبیه بیت تشخیص دستکاری بلوک به دلیل مقاومت بالا استفاده شده است).  
۸) بلوک نگاشت، بلوک جاری را از جدول نگاشت بدست آورده و آن را  $B\_Map$  می نامیم. از طرفی بلوک همزاد بلوک جاری را طبق رابطه ۹

جلوگیری از حمله رونوشت مکان می شود. بیشترین مقدار بدست آمده برای موقعیت جدید هر بلوک برابر  $\frac{N}{8} \times \frac{M}{8}$  می باشد.

۰	۰
۰	۱
۱	۰
۱	۰

شکل ۷ نحوه ساخت آرایه  $Binary$  برای هر بلوک طبق جدول نگاشت ۵) حاصل  $Xor(Index(m,n,4), Binary(m,n,4))$  را بدست آورده و در  $X(m,n,4)$  قرار می دهیم. در نهایت دو بیت نشانه جهت احراز صحت و یکپارچگی تصویر دریافتی طبق رابطه ۸

$$Xor(Xor(X(m,n,1), X(m,n,2)), Xor(X(m,n,3), X(m,n,4))) \quad (8)$$

بدست می آید. ساخت نشانه احراز صحت در شکل ۸ ارائه شده است.

۰	۱	۲	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۱	۰
۲	۳	۳	۱	۱	۰	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۰
۱۵	۲۴	۰	۰	۰	$Xor$	۱	۰	=	۱	۰	$Xor$	۰	۱	۱
۰	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۷۵	۹۰	۱	۰	۱										
مرتب سازی پیکسل ها			$Xor(Index, Binary)$						$Xor(X)$					

شکل ۸ شمای کلی نحوه ساخت نشانه احراز صحت برای بلوک  $8 \times 8$

### ۲-۱-۴ تعبیه نشانه

۱) ابتدا تصویر را به مدل رنگی  $YCbCr$  تبدیل می کنیم. از این مدل در فشرده سازی  $JPEG$  استفاده می شود؛ آزمایش ها انجام شده نشان می دهد، که در این مدل نشانه تعبیه شده نسبت به  $RGB$  برابر فشرده سازی مقاومت بیشتری دارد. در صورتی که قصد داریم بر روی تصویر خاکستری نشانه گذاری کنیم نیازی به این تبدیل نیست.

۲) در این مرحله تصویر حاصل از مرحله قبل را به بلوک های  $8 \times 8$  غیر همپوشان تقسیم و هر بلوک حاصل را با  $D(m,n)$  نشان می دهیم.

۳) یک سطح تبدیل  $Dct$  بروی  $D(m,n)$  اعمال و حاصل را در  $Dct1(m,n)$  قرار می دهیم.

۴) از  $Dct1(m,n)$  ضرایب فرکانس پایین و میانه را طبق شکل ۹ استخراج کرده و در  $Dct1\_D(m,n)$  قرار می دهیم. علت چشم پوشی از ضرایب فرکانس بالا، حفظ جزئیات تصویر می باشد، چرا که پس از تعبیه نشانه در ضرایب فرکانس پایین و میانه و پس از اعمال تبدیل معکوس کسینوسی گسسته<sup>۱</sup> ضرایب فرکانس بالا دست خوش تغییرات می شود، لذا با حفظ ضریب فرکانس بالا، سعی می شود تا

<sup>2</sup>Quantize

<sup>1</sup>Inverse Discrete Cosine Transform

## Archive of SID

(۱۰) بر روی ضرایب  $Dct3\_D_{Quantized}(m,n)$  طبق شکل ۱۰ معکوس چندی سازی را انجام می‌دهیم. برای این کار ضرایب  $Dct3\_D(m,n)$  را در ضرایب آرایه چندی سازی ضرب نموده و حاصل را در  $Dct3\_D(m,n)$  قرار می‌دهیم.

(۱۱) دو مرتبه تبدیل معکوس کسینوسی گسسته بر روی  $Dct3\_D(m,n)$  اعمال و حاصل آن در  $Dct1\_D(m,n)$  قرار می‌دهیم.

(۱۲)  $Dct1\_D(m,n)$  و ضرایب فرکانس بالا  $Dct1(m,n)$  را که در مرحله ۴ حذف شدن را الحاق کرده و آرایه  $8 \times 8$  را بدست می‌آوریم و حاصل را در  $Dct1(m,n)$  قرار می‌دهیم.

(۱۳) یک مرتبه تبدیل معکوس کسینوسی گسسته را بر روی  $Dct1(m,n)$  اعمال می‌کنیم و حاصل را در  $D(m,n)$  قرار می‌دهیم.

(۱۴) اگر تصویر مربوطه رنگی بود، فضای رنگی را از YCbCr به RGB تبدیل می‌کنیم و تصویر نشانه گذاری شده را بدست می‌آوریم.

## ۲-۴ احراز صحت و یکپارچگی

پس از دریافت تصویر از کانال ارتباطی باید از صحت آن اطمینان حاصل شود؛ لذا برای این کار مراحل زیر را دنبال می‌کنیم.

## ۱-۲-۴ احراز صحت توسط نشانه تعبیه شده

(۱) در صورتی که تصویر رنگی است، ابتدا تصویر را به مدل رنگی YCbCr تبدیل می‌کنیم.

(۲) تصویر را به بلوک‌های  $8 \times 8$  غیر همپوشان تقسیم کرده و هر بلوک حاصل را با  $D(m,n)$  نشان می‌دهیم ( $1 < n < \frac{N}{2}$  و  $1 < m < \frac{M}{2}$ ).

(۳) یک سطح تبدیل کسینوسی گسسته بر روی هر  $D(m,n)$  اعمال می‌کنیم و حاصل را در  $Dct1(m,n)$  قرار می‌دهیم.

(۴) از  $Dct1(m,n)$  ضرایب فرکانس پایین و میانه را طبق شکل ۹ استخراج کرده و در  $Dct1\_D(m,n)$  قرار می‌دهیم.

(۵) دو سطح تبدیل کسینوسی گسسته بر روی  $Dct1\_D(m,n)$  اعمال می‌شود و حاصل آن در  $Dct3\_D(m,n)$  قرار می‌گیرد.

(۶) ضریب  $Dc$  را استخراج کرده سپس طبق جدول چندی سازی اگر مضرب ۳ نبود، آن را به نزدیکترین عدد مضرب ۳ گرد کرده و در نهایت به ۳ تقسیم می‌کنیم و آن را  $Dc_{Quantize}$  می‌نامیم.

(۷) دو بیت کم ارزش  $Dc_{Quantize}$  را استخراج کرده و در  $Watermark_{Authenticate}(m,n)$  قرار می‌دهیم.

(۸) تصویر را به بلوک‌های  $4 \times 4$  غیر همپوشان تقسیم می‌کنیم و آن را  $A(i,j)$  می‌نامیم، که  $i$  و  $j$  نشان دهنده موقعیت بلوک در تصویر نشانه گذاری شده و  $1 < i < M$  و  $1 < j < N$  می‌باشد.

(۹) برای هر بلوک  $A(i,j)$  میانگین پیکسل‌ها را بدست آورده و آن را  $B(k,l)$  می‌نامیم. که  $k$  و  $l$  نشان دهنده موقعیت بلوک در تصویر میانگین یا تصویر نشانه که  $1 < k < \frac{M}{4}$  و  $1 < l < \frac{N}{4}$  می‌باشند. محاسبه میانگین بلوک  $A(i,j)$  با استفاده از رابطه ۷ انجام می‌شود.

$$B\_Dual = \begin{cases} row_{Current} - \frac{m}{2} & row_{Current} \geq \frac{m}{2} \\ row_{Current} + \frac{m}{2} & row_{Current} < \frac{m}{2} \end{cases} \quad (9)$$

بدست می‌آوریم.

(۹) بلوک نشانه بازسازی  $B\_Map$  و  $B\_Dual$  را از آرایه  $Watermark_{Recovery}$  یافته و ۶ بیت پر ارزش<sup>۱</sup> آن را طبق شکل ۱۱ و ۱۲ در ضرایب تبدیل  $Dct3\_D_{Quantized}(m,n)$  با استفاده از روش تطبیق بیت‌های کم ارزش جاسازی می‌کنیم. دو بیت نشانه در دو بیت کم ارزش ضرایب  $Dct3\_D_{Quantized}$  جاسازی می‌شود. نحوه جاسازی به گونه‌ای است که بیت‌های پر ارزش میانگین بلوک‌ها، در نواحی مقاوم‌تر تعبیه شوند؛ چراکه در برابر حملاتی مانند فشرده‌سازی مقاوم‌تر باشند، تا بتوان کلیات تصویر را بازسازی نمود. نحوه تعبیه به این صورت است که هر بلوک  $8 \times 8$  توانایی ذخیره ۵۰ بیت را دارد، که از این تعداد دو بیت برای شناسایی دستکاری و سایر بیت‌ها جهت پنهان کردن نسخه اول و دوم تصویر استفاده می‌شود، به این صورت که برای هر بلوک  $4 \times 4$  موجود در تصویر پس از محاسبه میانگین ۶ بیت پر ارزش را بدست آورده و از آنجایی که هدف روش پنهان کردن ۲ نشانه است در مجموع ۴۸ بیت نیاز است. این بیت‌ها بر اساس ارزش و اولویت که دارند، به صورت دوییتی در ۲ بیت کم ارزش ضرایب به روش تطبیق بیت‌های کم ارزش تعبیه می‌شوند.

نشانه ۲  $B\_Dual$  و نشانه ۱  $B\_Map$

۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۰	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۰
۱	۱	۲	۲	۳	۳	x	x	۱	۱	۲	۲	۳	۳	x	x
۴	۴	۵	۵	۶	۶	x	x	۴	۴	۵	۵	۶	۶	x	x
۷	۷	۸	۸	۹	۹	x	x	۷	۷	۸	۸	۹	۹	x	x
۱۰	۱۰	۱۱	۱۱	۱۲	۱۲	x	x	۱۰	۱۰	۱۱	۱۱	۱۲	۱۲	x	x

شکل ۱۱ پیکسل‌های  $Watermark_{Recovery}$  در موقعیت  $B\_Map$  و  $B\_Dual$

DC	۱	۲	۳	۱	۲
۴	۷	۵	۶	۴	۳
۱۰	۸	۹	۵	۶	
۱۱	۱۲	۷	۹		
۱۰	۸				
۱۱	۱۲				

شکل ۱۲. ضرایب  $Dct3\_D_{Quantized}$

<sup>1</sup>Most Significant Bit



Archive of SID

(۱۶) اگر تصویر رنگی بود، هر سه باند را بررسی کرده و تعداد مشابهی بودن  $Watermark_{Authenticate} = W$  را محاسبه کرده و در  $C$  قرار می-دهیم. در نهایت با استفاده از رابطه ۱۱ برای تصاویر خاکستری و رابطه ۱۲ برای تصاویر رنگی

$$Tamper_{Gray} = \begin{cases} False & Watermark_{Authenticate} = W \\ True & other \end{cases} \quad (11)$$

$$Tamper_{color} = \begin{cases} False & C = 1 \\ True & other \end{cases} \quad (12)$$

پی به دستکاری شدن بلوک می-بریم.

۲-۲-۴ احراز صحت نواحی متصل

(۱) در آرایه دودویی  $Tamper$ ، نواحی که پیکسل‌های همجوار ۴ گانه اصلی آن با هم در ارتباط هستند، را به عنوان یک ناحیه دستکاری شده در نظر می-گیریم و در  $Connected_{Region}$  قرار می-دهیم.

(۲) اگر تعداد پیکسل‌های متصل در  $Connected_{Region}$  از آستانه  $T$  بزرگتر بود آن ناحیه را به عنوان ناحیه تخریب شده در نظر می-گیریم. آستانه  $T$  طوری انتخاب می-شود، که در هنگام فشرده‌سازی، بلوک‌های جدا از هم حذف شده تا درصد خطا واحد قبل را کاهش دهیم.

۲-۲-۳ عملیات ریخت‌شناسی

در این واحد سعی می‌شود با استفاده از عملیات ریخت‌شناسی-بستن حفره‌های خالی در بین بلوک‌های دستکاری شده را به عنوان بلوک دستکاری علامت بزنیم. اندازه آرایه  $2 \times 2$  در نظر گرفته شده است. در نهایت  $Tamper$  را بروز کرده و در اختیار واحد بعد قرار می-دهیم.

(۱۰) جدول نگاشت [۲۶] را با استفاده از کلید و در نظر گرفتن اندازه تصویر ایجاد می‌کنیم. اگر اندازه تصویر  $N \times M$  پیکسل فرض شود، اندازه جدول نگاشت برابر  $\frac{N}{8} \times \frac{M}{8}$  خواهد بود.

(۱۱) تصویر  $A$  را به بلوک‌های  $2 \times 2$  غیر همپوشان تقسیم می‌کنیم و آن را  $C(m, n)$  می‌نامیم که  $m$  و  $n$  نشان دهنده موقعیت بلوک در  $A$  می-باشد  $(1 < m < \frac{k}{2}, 1 < n < \frac{l}{2})$ .

(۱۲) برای هر بلوک  $C(m, n)$  مقادیر پیکسل‌ها را مرتب کرده و موقعیت پیکسل آن را در  $Index(m, n, 4)$  قرار می‌دهیم. موقعیت هر پیکسل در بلوک  $C(m, n)$  در بازه  $[0, 3]$  در نظر گرفته می‌شود.

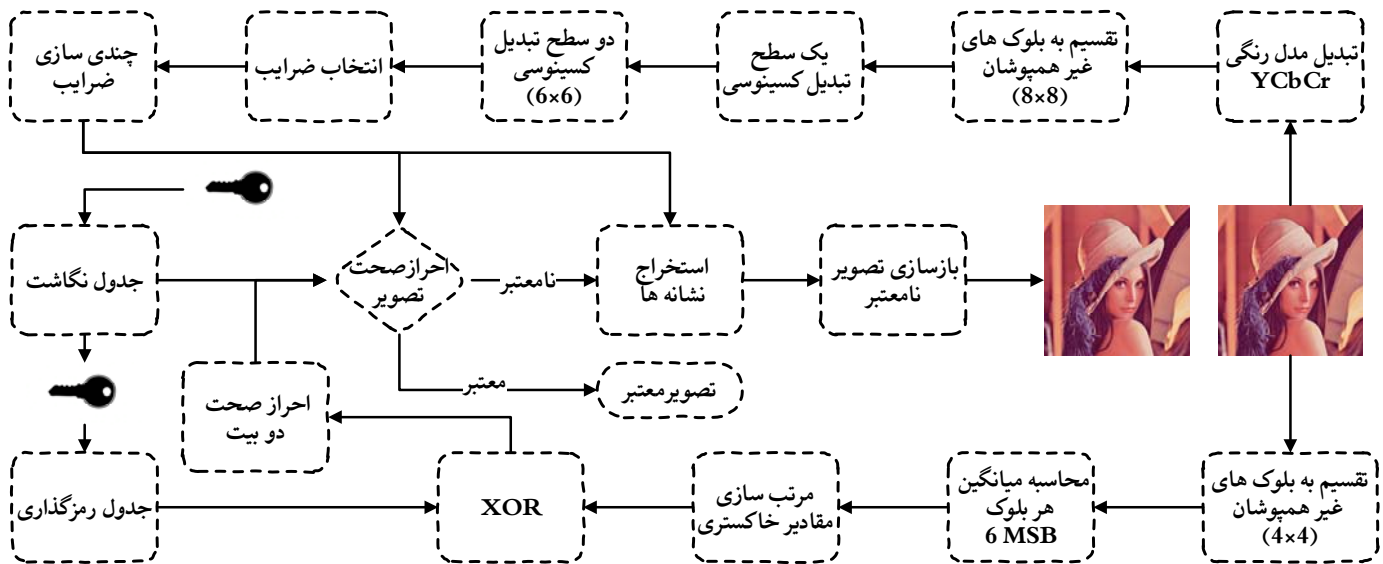
(۱۳) موقعیت پیشنهادی جدول نگاشت برای بلوک جاری رابه نوع دودویی تبدیل کرده و ۸ بیت پرارزش آن را به صورت شکل ۷ در  $Binary(m, n, 4)$  قرار می‌دهیم.

(۱۴) حاصل  $Xor(Index(m, n, 4), Binary(m, n, 4))$  را بدست آورده و در  $X(m, n, 4)$  قرار می‌دهیم.

(۱۵) در نهایت دو بیت نشانه جهت احراز صحت و یکپارچگی تصویر دریافتی طبق رابطه ۱۰

$$W(m, n) = Xor(Xor(X(m, n, 1), X(m, n, 2)),$$

بدست می‌آید.



شکل ۱۳ فرآیند کلی احراز صحت و بازسازی تصویر روش پیشنهادی

(۱) ضرایب آرایه بدست آمده  $Dct3\_D$  در واحد احراز صحت و یکپارچگی، را بررسی می‌کنیم، که مضربی از ضرایب جدول چندی-سازی باشد؛ در غیر این صورت به نزدیکترین عدد طبق جدول

۳-۴ بازسازی و ترمیم

۳-۴-۱ بازسازی به کمک نشانه

برای هر بلوک تصویر که در واحد احراز صحت و یکپارچگی، بلوک غیرمعتبر، شناسایی شده مراحل زیر را انجام می‌دهیم.

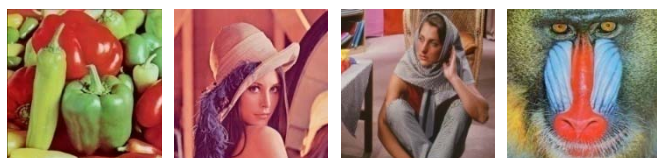
## ۲-۳-۴ بازسازی به کمک پیکسل‌های همسایه

بلوک‌های دستکاری باقی مانده پس از مرحله بازسازی به کمک نشانه، را مانند شکل ۱۴ به کمک پیکسل‌های معتبر همسایه بازسازی می‌کنیم. برای این امر پیکسل‌های معتبر همسایه را با هم جمع کرده و حاصل را بر تعداد بلوک‌های معتبر تقسیم می‌کنیم و جایگزین تمام پیکسل‌های بلوک دستکاری شده می‌کنیم. مراحل احراز صحت و بازسازی در شکل ۱۳ نشان داده شده است.

### ۵ نتایج آزمایش‌ها

#### ۱-۵ پایگاه داده

جهت ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی، ۸ تصویر مطابق شکل ۱۵ مورد استفاده قرار می‌گیرند. اندازه تمام تصاویر  $512 \times 512$  و تمامی آنها به غیر از Elaine بصورت رنگی و با فرمت BMP ذخیره شده‌اند.

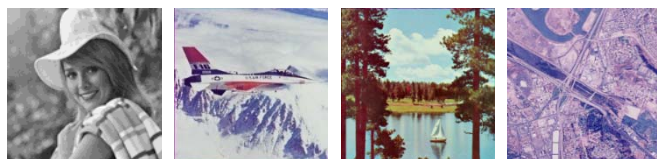


Pepper(د)

Lena(ج)

Barbara(ب)

Baboon(الف)



Elaine(ح)

F16(ن)

Lake(و)

Santiago(ه)

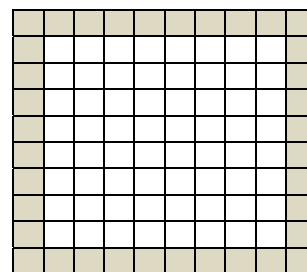
شکل ۱۵ تصاویر متعارف بررسی شده

چندی‌سازی گرد کرده و در نهایت تقسیم بر ضرایب چندی‌سازی می‌کنیم و حاصل را  $Dct3\_DQuantize$  می‌نامیم.

(۲) نشانه شماره ۱ و ۲ را همانند شکل ۱۲ از ضرایب استخراج کرده و مقدار پیکسل‌های نشانه‌های ۱ و ۲ را محاسبه می‌کنیم. از آنجایی که در واحد تعبیه نشانه ۶ بیت پر ارزش را در ضرایب جاسازی کردیم، لذا در این جا ۲ بیت کم ارزش را با صفر پر می‌کنیم.

(۳) بلوک نگاشت  $Tamper(m,n)$  که دستکاری شده است را با استفاده از جدول نگاشت محاسبه می‌کنیم؛ اگر آن بلوک معتبر بود، با استفاده از اطلاعات نشانه شماره ۱ در آن مکان، بلوک دستکاری شده را بازسازی می‌کنیم، در غیر این صورت به مرحله بعد می‌رویم.

(۴) اگر بلوک همجوار بلوک نگاشت  $Tamper(m,n)$  معتبر بود، با استفاده از اطلاعات نشانه شماره ۲ در آن مکان، بلوک دستکاری شده را بازسازی می‌کنیم، در غیر این صورت بلوک را رها می‌کنیم.



شکل ۱۴ پیکسل‌های استفاده شده جهت بازسازی (پیکسل‌های همسایه)

جدول ۱ میانگین زمان (ثانیه) محاسباتی روش پیشنهادی و سایر روش‌ها (تصویر Lena)

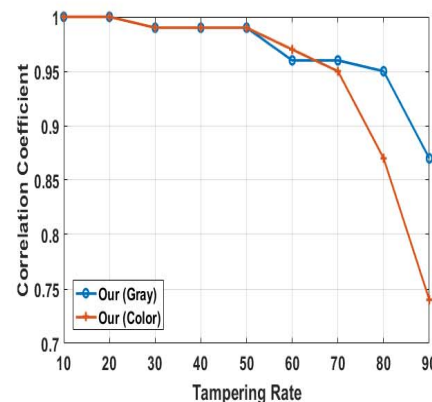
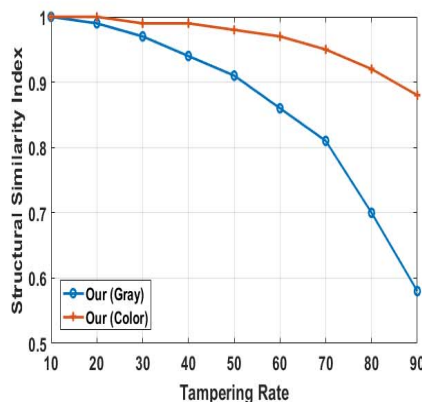
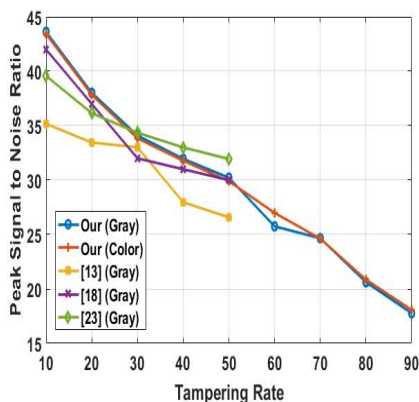
مشترک در هر دو فاز\* فاز ساخت و تعبیه نشانه فاز اعتبارسنجی و استخراج نشانه [۱۶] [۲۳]

عملیات	جدول نگاشت	نشانه بازسازی	نشانه اعتبارسنجی	مجموع	تعبیه نشانه	مجموع اعتبارسنجی	استخراج نشانها	مجموع *	مجموع	مجموع
رنگی	۰,۰۰۰۱	۰,۰۸	۰,۲۷	۰/۳۵	۱۰,۰۰	۱۰/۳۵	۱,۱۴	۲,۶۰	-	۱۲/۰۱
خاکستری	۰,۰۰۰۱	۰,۰۴	۰,۱۱	۰/۱۵	۳,۰۲	۳/۱۷	۰,۴۱	۰,۸۹	۱۰۷	۳/۷۴
خاکستری	۰,۰۰۰۱	۰,۰۴	۰,۱۱	۰/۱۵	۳,۰۲	۳/۱۷	۰,۴۱	۰,۸۹	۱۰۷	۳/۷۴

جدول ۲ مقایسه کیفیت نشانه استخراج شده از مدل رنگی RGB و YCbCr تحت حملات مختلف (تصویر Lena) *Archive of SID*

تصویر خاکستری			استفاده از YCbCr برای تبدیل DCT						استفاده از RGB برای تبدیل DCT						نوع حمله			
تصویر نشانه گذاری شده			تصویر نشانه گذاری شده						تصویر نشانه گذاری شده									
SSIM=۰/۹۶ PSNR=۴۴/۶۲			SSIM=۰/۹۹ PSNR=۳۴/۰۰						SSIM=۰/۹۹ PSNR=۳۷/۶۱									
نشانه شماره ۲			نشانه شماره ۱			نشانه شماره ۲			نشانه شماره ۱			نشانه شماره ۲			نشانه شماره ۱			
CC	SSIM	PSNR	CC	SSIM	PSNR	CC	SSIM	PSNR	CC	SSIM	PSNR	CC	SSIM	PSNR	CC	SSIM	PSNR	
۱	۰/۹۶	۳۴,۳۴	۱	۰/۹۸	۳۸/۹۸	۱	۰/۹۹	۳۷/۱۷	۱	۰/۹۹	۳۷/۰۶	۱	۰/۹۹	۳۷/۷۹	۱	۰/۹۹	۳۷/۶۷	بدون فشرده سازی
۱	۰/۹۶	۳۴,۳۴	۱	۰/۹۸	۳۸/۹۸	۱	۰/۹۹	۳۷/۱۷	۱	۰/۹۹	۳۷/۰۶	۱	۰/۹۹	۳۷/۷۹	۱	۰/۹۹	۳۷/۶۷	PNG
۱	۰/۹۶	۳۴,۳۴	۱	۰/۹۸	۳۸/۹۸	۰/۹۳	۰/۵۳	۲۴/۹۱	۱	۰/۹۸	۳۰/۹۲	۰/۸۵	۰/۱۳	۲۲/۸۹	۱	۰/۸۶	۲۸/۰۰	JPEG QF=۹۰
۰/۹۶	۰/۷۶	۳۱,۴۷	۱	۰/۹۸	۳۸/۹۷	۰/۶۰	۰/۲۸	۲۴/۳۲	۱	۰/۸۶	۲۷/۲۲	۰/۳۸	۰/۰۴	۲۲/۶۳	۰/۹۸	۰/۵۵	۲۴/۵۶	JPEG QF=۸۰
۰/۷۸	۰/۳۹	۲۶,۷۶	۱	۰/۹۸	۳۸,۶۱	۰/۳۳	۰/۱۴	۲۳/۵۵	۰/۹۳	۰/۷۰	۲۵/۸۳	۰/۱۶	۰/۰۴	۲۲/۶۶	۰/۸۵	۰/۳۳	۲۳/۴۰	JPEG QF=۷۰
۰/۴۸	۰/۱۷	۲۴,۰۲	۰/۹۸	۰/۸۶	۳۲,۵۱	۰/۱۹	۰/۰۷	۲۳/۱۷	۰/۸۱	۰/۵۳	۲۴/۹۵	۰/۱۲	۰/۰۳	۲۲/۶۴	۰/۶۴	۰/۱۷	۲۲/۹۶	JPEG QF=۶۰
۰/۳۰	۰/۰۹	۲۳,۲۲	۰/۸۶	۰/۵۰	۲۷,۹۷	۰/۱۵	۰/۰۱	۲۳/۱۴	۰/۶۵	۰/۳۲	۲۴/۰۶	۰/۰۷	۰/۰۲	۲۲/۶۴	۰/۴۲	۰/۰۷	۲۲/۷۵	JPEG QF=۵۰
۱	۰/۹۹	۴۲/۷۲	۱	۰/۹۹	۴۲/۷۲	۱	۱	۳۹,۳۳	۱	۱	۴۰,۹۷	۱	۱	۴۰,۱۰	۱	۱	۳۹,۸۸	گوسی( $\sigma=۰/۴$ )
۰/۷۹	۰/۴۹	۱۷/۸۴	۰/۸۹	۰/۶۶	۲۰/۹۱	۰,۹۵	۰,۸۵	۲۰,۳۹	۰,۹۹	۰,۹۴	۲۴,۷۷	۰,۸۲	۰,۷۲	۱۶,۴۷	۰,۹۲	۰,۸۶	۲۰,۴۰	گوسی( $\sigma=۰/۵$ )
۰/۶۱	۰/۲۸	۱۴/۸۷	۰/۶۳	۰/۳۰	۱۵/۱۷	۰,۴۳	۰,۳۰	۱۱,۴۰	۰,۵۵	۰,۴۱	۱۲,۵۶	۰,۷۴	۰,۵۴	۱۴,۳۸	۰,۷۵	۰,۵۶	۱۴,۵۷	نمک-فلفل( $\mu=۰/۰۱$ )
۰/۷۹	۰/۴۱	۱۷/۸۰	۰/۲۹	۰/۱۰	۱۱/۴۳	۰,۶۵	۰,۳۴	۱۲,۲۲	۰,۸۶	۰,۶۲	۱۵,۷۴	۰,۲۹	۰,۱۴	۹,۹۳	۰,۵۴	۰,۳۴	۱۱,۸۷	Jpeg2000 QF=80
۰/۵۸	۰/۳۶	۱۴/۱۵	۰/۵۰	۰/۲۶	۱۳/۳۹	۰,۶۹	۰,۵۰	۱۳,۶۸	۰,۸۸	۰,۶۸	۱۶,۷۳	۰,۵۱	۰,۳۷	۱۱,۹۶	۰,۷۲	۰,۵۴	۱۴,۱۷	مقیاس(۱,۴)
۱	۰/۹۹	۴۲/۷۲	۱	۰/۹۹	۴۲/۷۲	۰,۷۵	۰,۵۷	۱۴,۶۹	۰,۹۴	۰,۸۳	۱۹,۹۵	۰,۵۹	۰,۴۵	۱۲,۷۶	۰,۸۵	۰,۷۱	۱۶,۹۴	مقیاس(۲)
۰/۸۹	۰/۷۵	۲۱/۰۵	۰/۸۹	۰/۷۱	۲۱/۱۰	۰,۹۴	۰,۸۹	۲۰,۸۹	۰,۹۶	۰,۹۱	۲۲,۲۷	۰,۹۳	۰,۸۸	۲۰,۴۵	۰,۹۴	۰,۸۹	۲۱,۳۵	چرخش(۱)
۰/۸۱	۰/۵۴	۱۸/۳۹	۰/۸۲	۰/۵۵	۱۸/۵۹	۰,۹۱	۰,۸۲	۱۸,۹۲	۰,۹۵	۰,۸۸	۲۰,۹۱	۰,۸۶	۰,۷۷	۱۷,۵۳	۰,۹۰	۰,۸۳	۱۸,۸۸	چرخش(۲)
۰/۷۴	۰/۴۳	۱۶/۷۷	۰/۷۱	۰/۴۳	۱۶/۳۰	۰,۸۸	۰,۷۴	۱۷,۳۸	۰,۹۱	۰,۸۲	۱۹,۱۲	۰,۷۹	۰,۶۸	۱۵,۷۲	۰,۸۳	۰,۷۵	۱۶,۸۲	چرخش(۳)
۰/۷۴	۰/۸۲	۱۵/۵۹	۰/۷۲	۰/۶۰	۱۵/۲۹	۰,۹۲	۰,۸۶	۱۸,۹۱	۰,۸۵	۰,۸۰	۱۷,۸۱	۰,۷۴	۰,۸۵	۱۵,۰۱	۰,۷۲	۰,۷۴	۱۴,۷۱	برش(۱۶ پیکسل)

تصویر	روش پیشنهادی														
	[۲۴]						[۲۳]								
	خاکستری		خاکستری		خاکستری		خاکستری		خاکستری		خاکستری				
	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	
Baboon	۲۹/۲۰	۰/۹	۲۷/۰۱	۰/۹	۴۰/۹۲	۰/۹	۴۰/۷۱	-	-	۰/۹۹	۰/۹۹	۴۴/۶۳	۰/۹۹	۰/۹۸	۳۴/۰۲
Barbara	۲۸/۱۱	-	-	-	۴۰/۹۴	۰/۹۵	۳۵/۱۳	۰/۹۹	۰/۹۷	۴۴/۵۴	۰/۹۹	۰/۹۷	۴۴/۵۴	۰/۹۷	۳۴/۰۸
Lena	۲۹/۱۳	۰/۹۵	۳۴/۶۷	۰/۹۵	۴۰/۹۵	۰/۸۷	۳۵/۰۲	۰/۹۹	۰/۹۶	۴۴/۶۲	۰/۹۹	۰/۹۹	۴۴/۶۲	۰/۹۹	۳۴/۰۰
Pepper	۳۰/۱۱	۰/۹۵	۳۴/۵۱	۰/۹۵	۴۰/۹۲	-	-	۰/۹۹	۰/۹۶	۴۴/۵۴	۰/۹۹	۰/۹۹	۴۴/۵۴	۰/۹۹	۳۴/۱۹
Santiago	-	-	-	-	-	-	-	۰/۹۹	۰/۹۹	۴۴/۶۲	۰/۹۹	۰/۹۸	۴۴/۶۲	۰/۹۸	۳۴/۰۶
Lake	-	-	-	-	۴۰/۹۴	۰/۸۹	۳۵/۱۶	۰/۹۹	۰/۹۷	۴۴/۵۶	۰/۹۹	۰/۹۹	۴۴/۵۶	۰/۹۹	۳۴/۰۱
F16	۳۰/۰۱	۰/۹۱	۳۲/۸۱	۰/۹۱	۴۰/۸۶	۰/۸۶	۳۵/۱۶	۰/۹۹	۰/۹۵	۴۴/۶۹	۰/۹۹	۰/۸۵	۴۴/۶۹	۰/۸۵	۳۳/۸۸
Elaine	-	۰/۹۳	۳۴/۷۹	۰/۹۳	-	-	-	۰/۹۹	۰/۹۶	۴۴/۶۶	۰/۹۹	-	۴۴/۶۶	-	-



شکل ۱۶ کیفیت تصویر بازسازی شده در زمان دستکاری با نرخ‌های مختلف (تصویر Lena)

همانطور که در بخش ۴ اشاره شد، برای تعبیه نشانه ابتدا تصویر اصلی به مدل رنگی YCbCr تبدیل شده و سپس تبدیل کسینوسی گسسته را اعمال می‌کنیم. دلیل استفاده از این فضای رنگی، همانطور که در شکل ۱۷ مشخص است، مقاومت بیشتر نشانه‌ها در صورت فشرده‌سازی با ضریب کیفیت پایین می‌باشد. اگر چه ممکن است تصویر نشانه‌گذاری شده با استفاده از مدل YCbCr نسبت به RGB قدری کاهش کیفیت داشته باشد، اما به دلیل مقاومت بیشتر نشانه در هنگام حمله فشرده‌سازی در مدل YCbCr، قابل توجهی است.

در جدول ۲ نیز، مقایسه بین نشانه استخراج شده در مدل رنگی YCbCr و RGB، در هنگام اعمال حملات مختلف انجام شده است.

## ۵-۲ ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی

تمامی آزمایش‌ها بر روی سیستم با پردازنده Intel Core i5-3.3GHz انجام شده است. زمان محاسبه روش پیشنهادی برای ساخت، درج، احراز صحت و بازسازی به همراه مجموع زمان روش-های [۱۶] و [۲۳] بر روی تصویر Lena در جدول ۱ نشان داده شده است. زمان مناسب و عملیات ساده منجر به اجرا روش پیشنهادی بر روی دستگاه‌های دارای توان پایین می‌شود.

در شکل ۱۶، کیفیت تصویر بازسازی در هنگام اعمال دستکاری با نرخ‌های مختلف گزارش شده است. روشن است که تصویر بازسازی شده نسبت به سایر روش‌ها دارای کیفیت بصری بهتری می‌باشد.

۱۰	SSIM=۰/۲۸	PSNR=۲۴/۳۲	SSIM=۰/۸۶
۵۹	SSIM=۰/۱۴	PSNR=۲۳/۵۵	SSIM=۰/۷۰
۴۷۷	SSIM=۰/۰۷	PSNR=۲۳/۱۷	SSIM=۰/۵۳
۷۴۰	SSIM=۰/۰۵	PSNR=۲۳/۰۹	SSIM=۰/۴۸
۲۳۵۸	SSIM=۰	PSNR=۲۳/۱۴	SSIM=۰/۳۲
۱۳۵۴			PSNR=۲۴/۰۶
۰	SSIM=۰/۹۶	PSNR=۳۴/۳۴	SSIM=۰/۹۸
۰	SSIM=۰/۷۴	PSNR=۳۱/۴۷	SSIM=۰/۹۸
۰	SSIM=۰/۳۸	PSNR=۲۶/۷۶	SSIM=۰/۹۸

نتایج به روشنی نشان می‌دهد، نشانه‌های استخراج شده در هنگام اعمال تبدیل کسینوسی گسسته بر روی مدل رنگی YCbCr، به مراتب دارای کیفیت بالاتری می‌باشد. در جدول ۳، معیارهای کیفیت بین تصویر میزبان و نشانه‌گذاری برای روش پیشنهادی و سایر روش‌ها گزارش شده است؛ همانطور که مشاهده می‌شود مقدار *SSIM* و *PSNR* روش پیشنهادی بیشتر از روش‌های مشابه است. بنابراین، تصاویر نشانه‌گذاری شده، کیفیت بصری بهتری را حفظ می‌کند. در شکل ۱۸، کیفیت نشانه ۱ و ۲ استخراج شده و همچنین تعداد بلوک‌های دستکاری شده (غلط-مثبت)، در هنگام فشرده‌سازی با ضریب کیفیت مختلف نشان داده شده است. نتایج به وضوح نشان می‌دهد که در زمان فشرده‌سازی تصویر نشانه‌گذاری رنگی با ضریب کیفیت بیش از ۳۰، ناحیه دستکاری شده‌ای توسط روش پیشنهادی پیدا نمی‌شود. این نشان دهنده مقاومت بالای روش پیشنهادی در مقابل فشرده‌سازی و کاهش خطا در تشخیص ناحیه دستکاری شده می‌باشد. اگرچه نشانه دوم شکننده به نظر می‌رسد، اما نشانه اول در تصاویر رنگی و خاکستری با *SSIM* و *PSNR* مطلوبی استخراج می‌شوند.

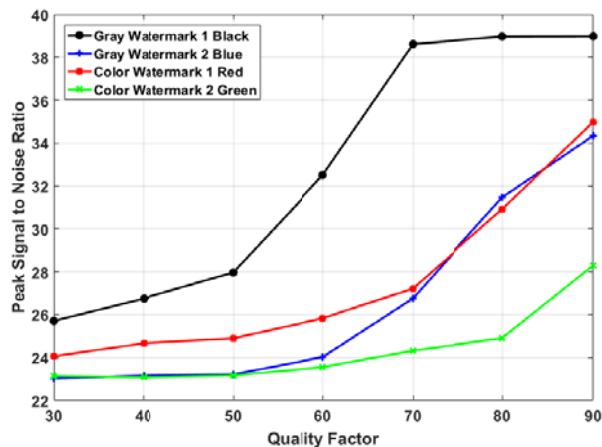


شکل ۱۷ مقایسه نشانه‌های استخراج شده حاصل از اعمال *DCT* بر روی مدل *YCbCr* و *RGB(QF=۶۰)* (الف) نشانه شماره ۱ *YCbCr*، *SSIM=۰/۷۴*، *PSNR=۲۱/۱۳* (ب) نشانه شماره ۲ *YCbCr*، *SSIM=۰/۱۲*، *PSNR=۱۰/۶۲* (پ) نشانه شماره ۱ *RGB*، *SSIM=۰/۳۶*، *PSNR=۱۴/۸۶* (ت) نشانه شماره ۲ *RGB*، *SSIM=۰/۰۵*، *PSNR=۹/۹۲*

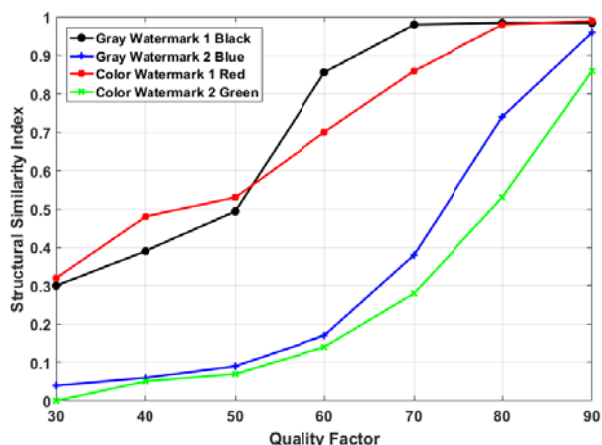


## Archive of SID

تخریب شده باشد با استفاده از اطلاعات نشانه که در تصویر تعبیه شده است، می‌توان ناحیه تخریب شده را توسط مرحله ۱ واحد بازسازی، ترمیم نمود.

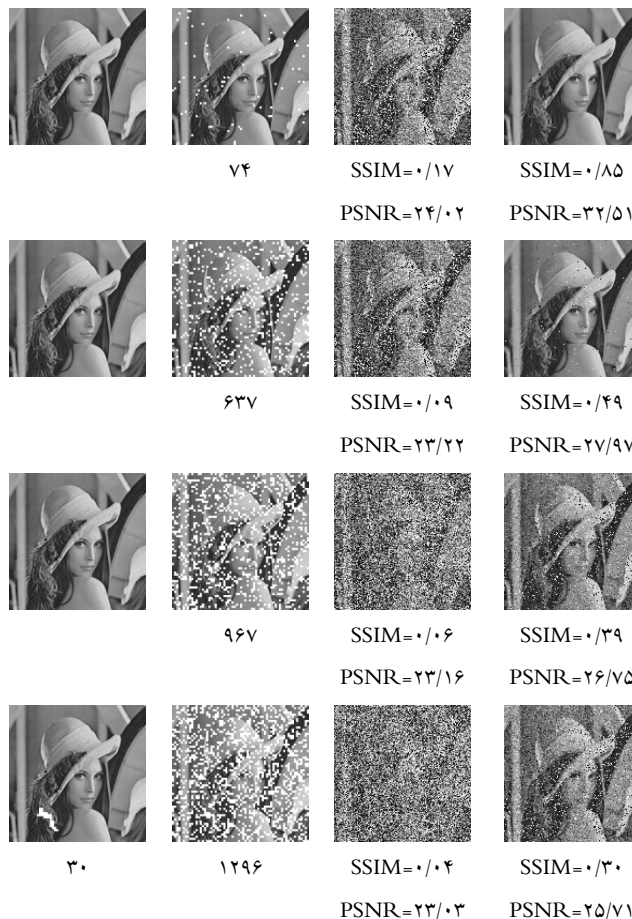


شکل ۱۹ مقاومت نشانه در مقابل حمله فشرده‌سازی، معیار PSNR



شکل ۲۰ مقاومت در مقابل حمله فشرده‌سازی، معیار SSIM

معیار  $PSNR$  و  $SSIM$  نشان دهنده کیفیت مطلوب تصویر بازسازی شده می‌باشند. به عنوان مثال برای تصویر Elaine که تصویری خاکستری است، در صورت تخریب نیمی از تصویر، ما می‌توانیم با  $PSNR$  حدود ۳۵ و  $SSIM$  نزدیک به ۰/۸ تصویر را بازسازی کنیم که مقدار قابل توجهی است. روش پیشنهادی علاوه بر توانایی بالا در بازسازی ناحیه دستکاری شده، دقت قابل توجهی در تشخیص ناحیه تخریب شده در حضور فشرده‌سازی با ضریب کیفیت پایین را دارد، که این نشان دهنده برتری روش نسب به روش‌های دیگر است که حتی در شناسایی درست و عاری از هرگونه خطا ناحیه دستکاری ضعف دارند. بنابراین معیار غلط-مثبت روش ارائه شده به مراتب کمتر است.



شکل ۱۸ نشانه ۱ و ۲ استخراج شده و تعداد بلوک‌های دستکاری تشخیص داده شده، تحت فشرده‌سازی با ضریب کیفیت ۳۰, ۴۰, ۵۰, ۶۰, ۷۰, ۸۰, ۹۰ (الف نشانه ۱ ب) نشانه ۲ پ) بلوک‌های دستکاری ت) ریخت‌شناسی

در شکل ۱۹ و ۲۰ نیز معیار  $PSNR$  و  $SSIM$  نشانه ۱ و ۲ استخراج شده از تصویر نشانه‌گذاری شده که تحت تاثیر فشرده‌سازی قرار گرفته شده است، نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشخص است کیفیت نشانه استخراج شده از تصویر خاکستری نسبت به رنگی کمی بهتر است. بطور کلی، با در نظر گرفتن فرصت دوگانه و کیفیت نشانه استخراج شده، روش پیشنهادی نسبت به روش‌های مشابه حوزه فرکانس برتری دارد.

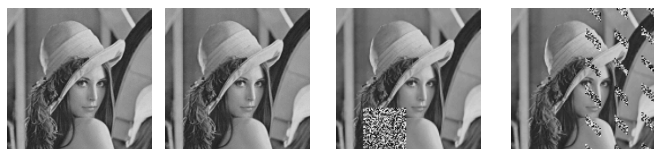
عملکرد روش پیشنهادی در برابر دستکاری‌های مختلف از قبیل حذف با ابعاد مختلف، ترکیب چند تصویر، اضافه کردن شی، حمله رونوشت مکان، تغییر رنگ شی و فشرده‌سازی بر روی تصاویر رنگی و خاکستری رایج پردازش تصویر در اشکال ۲۱ الی ۲۹ گزارش شده است. نتایج به روشنی نشان می‌دهد که روش پیشنهاد شده در برابر حملات فشرده‌سازی انعطاف پذیر است و حتی اگر نیمی از تصویر

Archive of SID



الف) تصویر نشانه گذاری (ب) تصویر دستکاری شده ۱۵۰ در ۱۵۰ (پ) احراز صحت توسط نشانه تعبیه شده (ت) عملیات ریختشناسی

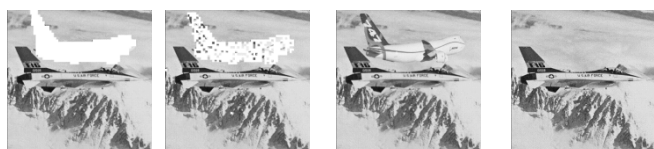
PSNR=۴۴/۶۲  
SSIM=۰/۹۶



ث) استخراج نشانه شماره ۱ (ج) استخراج نشانه شماره ۲ (چ) بازسازی ۱ (ح) بازسازی ۲

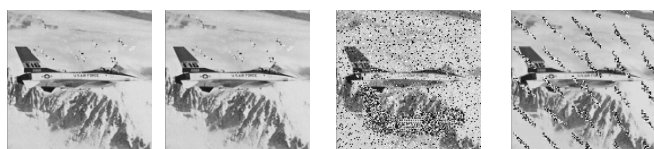
PSNR=۴۱/۸۴  
SSIM=۰/۹۶

شکل ۲۴ نتایج نشانه گذاری، تشخیص و استخراج نشانه حمله رونوشت مکان



الف) تصویر نشانه گذاری (ب) تصویر دستکاری شده (پ) احراز صحت توسط نشانه تعبیه شده (ت) عملیات ریختشناسی

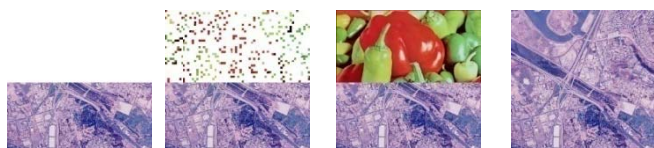
PSNR=۴۴/۶۹  
SSIM=۰/۹۵



ث) استخراج نشانه شماره ۱ (ج) استخراج نشانه شماره ۲ (چ) بازسازی ۱ (ح) بازسازی ۲

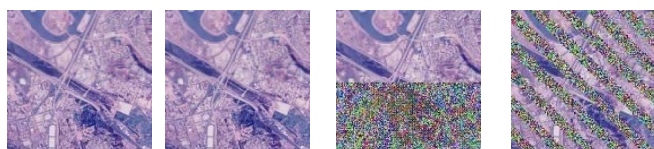
PSNR=۳۲/۰۱  
SSIM=۰/۹۵

شکل ۲۵ نتایج نشانه گذاری، تشخیص و استخراج نشانه حمله فشرده سازی 70 = QF



الف) تصویر نشانه گذاری (ب) تصویر دستکاری شده ۵۱۲ در ۲۵۶ (پ) احراز صحت توسط نشانه تعبیه شده (ت) عملیات ریختشناسی

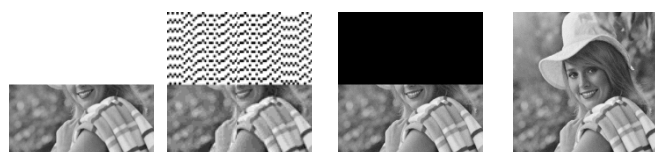
PSNR=۳۴/۰۶  
SSIM=۰/۹۸



ث) استخراج نشانه شماره ۱ (ج) استخراج نشانه شماره ۲ (چ) بازسازی ۱ (ح) بازسازی ۲

PSNR=۳۲/۰۱  
SSIM=۰/۹۵

شکل ۲۶ نتایج نشانه گذاری، تشخیص و استخراج نشانه



الف) تصویر نشانه گذاری (ب) تصویر دستکاری شده ۵۱۲ در ۲۵۶ (پ) احراز صحت توسط نشانه تعبیه شده (ت) عملیات ریختشناسی

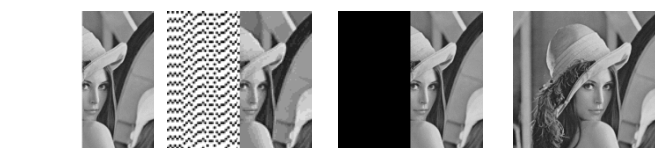
PSNR=۴۴/۶۶  
SSIM=۰/۹۶



ث) استخراج نشانه شماره ۱ (ج) استخراج نشانه شماره ۲ (چ) بازسازی ۱ (ح) بازسازی ۲

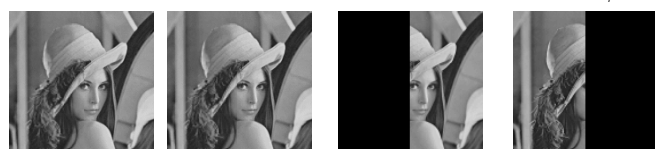
PSNR=۳۴/۹۶  
SSIM=۰/۸۱

شکل ۲۱ نتایج نشانه گذاری، تشخیص و استخراج نشانه



الف) تصویر نشانه گذاری (ب) تصویر دستکاری شده ۵۱۲ در ۲۵۶ (پ) احراز صحت توسط نشانه تعبیه شده (ت) عملیات ریختشناسی

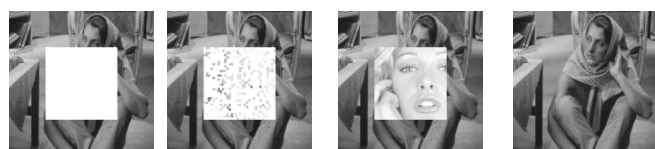
PSNR=۴۴/۶۲  
SSIM=۰/۹۶



ث) استخراج نشانه شماره ۱ (ج) استخراج نشانه شماره ۲ (چ) بازسازی ۱ (ح) بازسازی ۲

PSNR=۳۴/۷۲  
SSIM=۰/۸۳

شکل ۲۲ نتایج نشانه گذاری، تشخیص و استخراج نشانه



الف) تصویر نشانه گذاری (ب) تصویر دستکاری شده ۲۵۶ در ۲۵۶ (پ) احراز صحت توسط نشانه تعبیه شده (ت) عملیات ریختشناسی

PSNR=۴۴/۵۴  
SSIM=۰/۹۷



ث) استخراج نشانه شماره ۱ (ج) استخراج نشانه شماره ۲ (چ) بازسازی ۱ (ح) بازسازی ۲

PSNR=۳۶/۱۶  
SSIM=۰/۸۸

شکل ۲۳ نتایج نشانه گذاری، تشخیص و استخراج نشانه

## Archive of SID

### ۶ جمع بندی

در این مقاله، روشی جدید جهت نشانه‌گذاری کور نیمه شکننده دوگانه در تصاویر رقمی جهت شناسایی و بازسازی ناحیه دستکاری در تصاویر رنگی و خاکستری ارائه شد. در روش پیشنهادی اطلاعات نشانه در ضرایب فرکانس‌های پایین و میانی تبدیل کسینوسی گسسته تعبیه شده است، که ضعف روش‌های دامنه مکان در برابر حملات فشرده‌سازی را رفع می‌کند. این طرح فرصت دومی جهت بازسازی ناحیه دستکاری شده فراهم می‌کند، که منجر به وضوح بهتر تصویر بازسازی و عملکرد فوق العاده، به ویژه هنگام بزرگ بودن ناحیه دستکاری می‌شود. این روش به دلیل، بهره‌گیری از تنها دو بیت برای شناسایی ناحیه دستکاری و همچنین یک کلید مخفی برای بازسازی و عدم نیاز به وجود تصویر اصلی، کارا است. این روش در مقایسه با سایر روش‌های بازسازی و شناسایی به دلیل کاهش نرخ اشتباه در تشخیص و بازسازی ناحیه دستکاری در تصاویری که با ضریب فشرده‌سازی پایین فشرده شده‌اند و همچنین توانایی بازسازی تصویری که حدود نیمی از آن تخریب شده است، برتری مطلق دارد. علاوه بر این با استفاده از نگاشت آشوبی منطقی و استفاده از کلید مختص هر بلوک امنیت نشانه تعبیه شده و مقاومت در برابر حمله رونوشت مکان را فراهم کرده است. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که روش ارائه شده، انعطاف پذیری بیشتری در برابر فشرده‌سازی، رونوشت مکان، برش، پوشش، حذف و حملات جایگزین دارد. براساس مزیت‌های که در بالا اشاره شد، روش ارائه شده، روشی موثر، ایمن و کارآمد برای شناسایی دستکاری و بازسازی در تصاویر رنگی و خاکستری می‌باشد.

### مراجع

- [1] J. Zhao, "Embedding robust labels into images for copyright protection", *KnowRight*, pp. 242-251, 1995.
- [2] Hong-Yuan Mark Liao, Chwen-Jye Sze, Shih-Kun Huang and Chun-Shien Lu, "Cocktail watermarking for digital image protection", *IEEE Trans. Multimedia*, vol. 2, no. 4, pp. 209-224, 2000.
- [3] C. Lin and S. Chang, "Semi fragile watermarking for authenticating JPEG visual content", *Security and Watermarking of Multimedia Contents II*, 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] 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.



الف) تصویر نشانه‌گذاری (ب) تصویر دستکاری شده ۱۰۰ در ۱۵۰ توسط نشانه تعبیه شده (پ) احراز صحت (ت) عملیات ریختنشاسی

PSNR=۳۴,۰۸  
SSIM=۰,۹۷

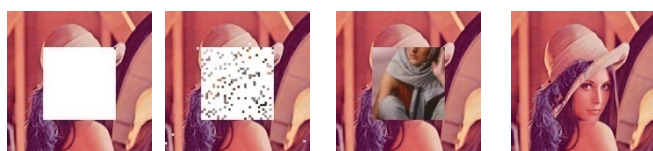


ث) استخراج نشانه شماره ۱ (ج) استخراج نشانه شماره ۲ (چ) بازسازی ۱ (ح) بازسازی ۲

PSNR=۳۲,۰۱  
SSIM=۰,۹۵

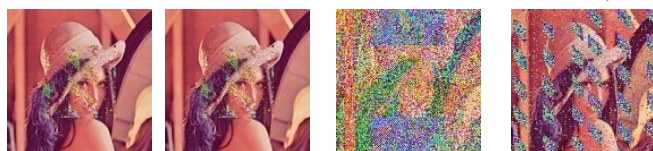
شکل ۲۷ نتایج نشانه‌گذاری، تشخیص و استخراج نشانه،

حمله رونوشت مکان QF = 70



الف) تصویر نشانه‌گذاری (ب) تصویر دستکاری شده ۲۵۶ در ۲۵۶ توسط نشانه تعبیه شده (پ) احراز صحت (ت) عملیات ریختنشاسی

PSNR=۳۴,۰۰  
SSIM=۰,۹۹



ث) استخراج نشانه شماره ۱ (ج) استخراج نشانه شماره ۲ (چ) بازسازی ۱ (ح) بازسازی ۲

PSNR=۳۰,۲۶  
SSIM=۰,۹۱

شکل ۲۸ نتایج نشانه‌گذاری، تشخیص و استخراج نشانه

حمله فشرده‌سازی QF = 70



الف) تصویر نشانه‌گذاری (ب) تصویر دستکاری شده (پ) احراز صحت (ت) عملیات ریختنشاسی

PSNR=۳۴,۰۲  
SSIM=۰,۹۸



ث) استخراج نشانه شماره ۱ (ج) استخراج نشانه شماره ۲ (چ) بازسازی ۱ (ح) بازسازی ۲

PSNR=۳۲,۲۱  
SSIM=۰,۹۵

شکل ۲۹ نتایج نشانه‌گذاری، تشخیص و استخراج نشانه

حمله اصلاح روشنایی



- [19] M. Iwata, T. Hori, A. Shiozaki and A. Ogihara, "Digital watermarking method for tamper detection and recovery of JPEGimages", *International Symposium On Information Theory & Its Applications*, pp. 309-314, 2010.
- [20] Rosales-Roldan, Luis et al, "Watermarking based image authentication with recovery capability using halftoning technique", *Signal Processing: Image Communication*, no. 1, pp. 69-83, 2013.
- [21] 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.
- [22] Hsu, Ching-Sheng and Shu-Fen Tu, "Image Tamper Detection and Recovery Using Adaptive Embedding Rules", *Measurement*, pp. 287-296, 2016
- [23] Singh, Durgesh, and Sanjay K. Singh, "Effective self-embedding watermarking scheme for image tampered detection and localization with recovery capability" *Journal of Visual Communication and Image Representation*, pp. 775-789, 2016.
- [24] O. Benrhouma, H. Hermassi, S. Belghith, "Tamper detection and self-recovery scheme by dwt watermarking", *Nonlinear Dynamics*, no. 3, pp. 1817-1833, 2015.
- [25] Singh, Priyanka, and Suneeta Agarwal, "A self recoverable dual watermarking scheme for copyright protection and integrity verification", *Multimedia Tools and Applications*, pp. 1-40, 2016.
- [۲۶] بهروز بلوریان حقیقی، امیرحسین طاهری‌نیا، "روش واترمارکینگ نیمه‌شکننده مبتنی بر تبدیل کسینوس گسسته جهت تشخیص و بازسازی دستکاری در تصویر"، *مجله پردازش سیگنال پیشرفته دانشگاه تبریز*، جلد ۱، شماره ۱، ص ۳۵-۴۶، ۱۳۹۵.
- [۲۷] بهروز بلوریان حقیقی، امیرحسین طاهری‌نیا، "نشانه‌گذاری نیمه‌شکننده مبتنی بر تبدیل موجک ترفیع و نزدیک‌ترین همسایه جهت تشخیص دستکاری در تصاویر رنگی و خاکستری"، *مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز*، در نوبت چاپ، ۱۳۹۶.
- [6] C. Lu, "Mean quantization based fragile watermarking for image authentication", *Optical Engineering*, vol.40, no.7, pp. 1396-1408, 2001.
- [7] P. Singh and R. Chadha, "A survey of digital watermarking techniques, applications and attacks", *International Journal of Innovative Technology*, vol.2, no.9, pp.165-175, 2013.
- [8] Parashar, Preeti and Rajeev Kumar Singh, "A survey: digital image watermarking techniques". *International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition*, no.6, pp. 111-124, 2014.
- [9] P. Abrol and Devanand, "Digital tampering detection techniques: a review", *International Journal of Information Technology*, vol. 1, no. 2, 2009.
- [10] M. Mishra, "Digital image tamper detection techniques a comprehensive study", *International Journal of Computer Science and Business Informatics*, vol. 2, no.1, 2013.
- [11] P. Lin, C. Hsieh and P. Huang, "A hierarchical digital watermarking method for image tamper detection and recovery", *Pattern Recognition*, vol. 38, no. 12, pp. 2519-2529, 2005.
- [12] Laouamer, Lamri et al, "Robust watermarking scheme and tamper detection based on threshold versus intensity" *Journal of Innovation in Digital Ecosystems*, no. 1, pp. 1-12, 2016.
- [13] T. Lee and S. Lin, "Dual watermark for image tamper detection and recovery", *Pattern Recognition*, vol. 41, no. 11, pp. 3497-3506, 2008.
- [14] Tao Jing, Xinghua Li and Feifei 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.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] Al-Otum, Hazem 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*, pp. 1064-1081, 2016.
- [18] Dadkhah, Sajjad et al, "An effective svd-based image tampering detection and self-recovery using active watermarking", *Signal Processing: Image Communication*, no. 10, pp. 1197-1210, 2016.

*Archive of SID*

**بهروز بلوریان حقیقی** مدرک کارشناسی خود را در سال ۱۳۹۲ در رشته مهندسی کامپیوتر نرم افزار از دانشگاه آزاد مشهد دریافت کرد و در سال ۱۳۹۳ در رشته هوش مصنوعی در دانشگاه فردوسی مشهد پذیرش و در حال ادامه تحصیل در مقطع ارشد می باشد. زمینه های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان عبارتند از: پردازش تصویر، پنهان سازی اطلاعات، نشانه گذاری در تصاویر.



**امیرحسین طاهری نیا** تحصیلات خود را در مقطع کارشناسی در رشته مهندسی کامپیوتر در سال ۱۳۸۳ در دانشگاه فردوسی مشهد و مقاطع کارشناسی ارشد و دکتری را در رشته هوش مصنوعی در سالهای ۱۳۸۵ و ۱۳۹۰ در دانشگاه صنعتی شریف به پایان برده اند. ایشان از سال ۱۳۹۱ استادیار گروه کامپیوتر دانشگاه فردوسی مشهد هستند و زمینه های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان عبارتند از: پردازش تصویر و کاربردهای آن، پنهان سازی اطلاعات و ردیابی تصاویر.