

## نهان‌نگاری تصویر دیجیتال مقاوم در برابر برش با استفاده از جدول سودوکو در حوزه مکان و تبدیلات

شادی صانعی<sup>(۱)</sup> - علیرضا نقش<sup>(۲)</sup>

(۱) کارشناس ارشد - دانشکده مهندسی برق، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، اصفهان، ایران

(۲) استادیار - دانشکده مهندسی برق، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، اصفهان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۸/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۵/۲۶

**خلاصه:** با توسعه سریع فناوری‌های دیجیتال، حفاظت از حق تألیف و اثبات مالکیت اطلاعات اهمیت فراوانی یافته است. در نهان‌نگاری تصویر، اطلاعات داخل تصویر به نحوی جاسازی می‌شود که کیفیت بصری تصویر کاهش نیابد و گیرنده بتواند اطلاعات موردنظر را دریافت کند. همچنین برخی از حملات مانند برش تصویر، اطلاعات نهان‌نگار را از بین می‌برند. در این مقاله طرح جدیدی برای نهان‌نگاری تصویر دیجیتال پیشنهاد شده که در مقابل حمله برش شدید مقاوم است. در این طرح از جدول سودوکوی کلاسیک که یک جدول ۹×۹ است، استفاده شده است. یکی از ویژگی‌های جدول سودوکو این است که محدودیت‌های جدول باعث شده اعداد یا سمبل‌ها در سرتاسر جدول به صورت یکنواخت پراکنده شوند. در این روش پیشنهادی از جدول سودوکو و نهان‌نگاری مبتنی بر حوزه مکان و تبدیلات از قبیل تبدیل کسینوسی گسسته و تبدیل موجک گسسته و مزایای هر حوزه بهره برده‌ایم. عدم استفاده از راه‌حل جدول سودوکو در مرحله استخراج و کشف راه‌حل صحیح برای دستیابی به نهان‌نگار از نوآوری‌های این طرح است. مقاوم بودن این روش نهان‌نگاری در مقابل برش تا ۹۲٪ درصد، عملکرد مطلوب این طرح را نشان می‌دهد.

**کلمات کلیدی:** نهان‌نگاری تصویر دیجیتال، جدول سودوکو، حوزه مکان، حوزه تبدیلات، برش.

## Robust Digital Image Watermarking Against Cropping Using Sudoku Puzzle in Spatial and Transform Domain

Shadi Saneie<sup>(1)</sup> – Alireza Naghsh<sup>(2)</sup>

(1) MSc - Department of Electrical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Isfahan, Iran

shadi.saneie@yahoo.com

(2) Assistant Professor - Department of Electrical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Isfahan, Iran

naghsh.a@pel.iaun.ac.ir

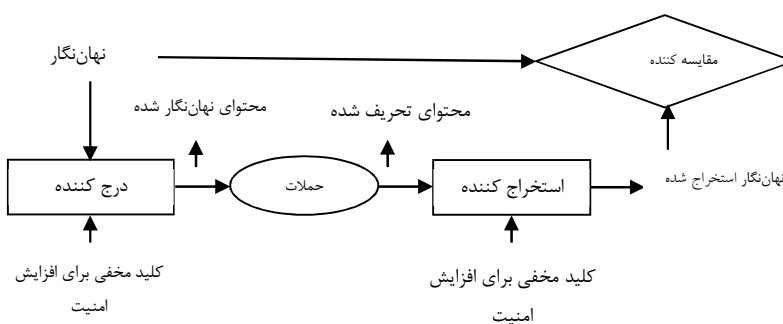
With rapid development of digital technology, protecting information such as copyright, content ownership confirmation has become more important. In image watermarking, information of the image is inserted such that the visual quality of the image is not reduced and the receiver is able to get the required information. Some attacks such as image cropping, destroy the watermark's information. In this article, a new watermarking scheme is proposed which is robust against tough cropping. In the proposed scheme, classic Sudoku table which is a 9\*9 table, has been used. One feature of Sudoku table is that Sudoku's limitations cause uniform scattering of symbols or numbers throughout the table. In the proposed scheme, Sudoku table and both watermarking approaches based on spatial domain and transform domain such as DCT and DWT are used. Lack of using of soduko solution at the stage of extraction and finding correct solution to obtain watermark, is innovation of this scheme. Robustness of watermarking against cropping attack is up to 92%, which shows good and effective performance of the proposed scheme.

**Index Terms:** Digital Image Watermarking, Sudoku, Spatial domain, Transform domain, Cropping.

## ۱- مقدمه

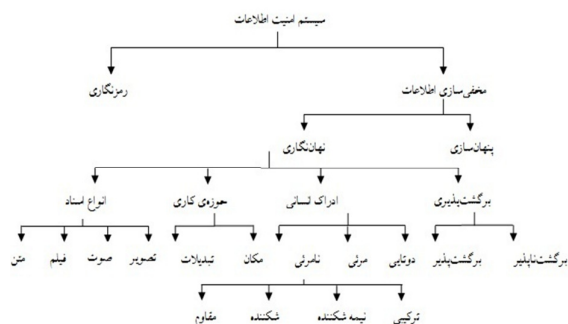
محتوای نهان‌نگاری با دو مبحث رمزنگاری<sup>۳</sup> و پنهان‌سازی<sup>۴</sup> اطلاعات ارتباط نزدیکی دارد. نهان‌نگاری، رمزنگاری و پنهان‌سازی اطلاعات به عنوان سیستم امنیت داده شناخته می‌شوند. رمزنگاری یک روش برای ارسال یک پیام در یک فرمت امن است که تنها فرد مجاز می‌تواند آن را رمزگشایی کند و بخواند. حتی اگر پیام رمزدار بتواند در طول انتقال، محافظت شود اولین باری که پیام رمزگشایی شد دیگر محافظت نمی‌شود و این نقطه‌ضعف اصلی تکنیک رمزنگاری در مقایسه با نهان‌نگاری است. علاوه بر این بسیاری از روش‌های رمزنگاری پیچیده هستند و در حفاظت از حق تألیف ضعیف عمل می‌کنند [۱].

با توسعه سریع رسانه‌های دیجیتال، انتقال، نسخه‌برداری یا تغییر اطلاعات به سهولت انجام می‌گیرد بنابراین حفاظت از حق تألیف و احراز اصالت اطلاعات دیجیتال در دنیای کنونی اجتناب‌ناپذیر شده است. نهان‌نگاری دیجیتال یک روش ایمن برای حفاظت از حق تألیف، احراز اصالت، ردیابی منبع و نظارت بر توزیع اطلاعات است. ایده اصلی در نهان‌نگاری دیجیتال، گنجاندن اطلاعات خاصی در سیگنال میزبان است. اطلاعات و سیگنال میزبان می‌توانند صوت، تصویر، ویدئو یا هر سند دیجیتال دیگری باشند. هر الگوریتم نهان‌نگاری شامل دو مرحله اساسی درج<sup>۱</sup> و استخراج<sup>۲</sup> نهان‌نگار است. در شکل (۱) نمای کلی از یک سیستم نهان‌نگاری نشان داده شده است.



شکل (۱): نمای کلی از یک سیستم نهان‌نگاری [۵۳]

Fig. (1): Typical watermarking system framework [53]



شکل (۲): نمای کلی از یک سیستم امنیت داده و طبقه‌بندی نهان‌نگاری اطلاعات [۳]

Fig. (2): Overview of a data security system and watermarking classified information [3]

## ۱-۱- ویژگی‌های نهان‌نگاری

گروه‌بندی متفاوتی برای بیان ویژگی‌های نهان‌نگاری وجود دارد. یک دسته از این ویژگی‌ها مانند ظرفیت<sup>۵</sup> و شفافیت<sup>۶</sup> مربوط به مرحله جاسازی اطلاعات هستند و دسته دیگر مانند مقاوم بودن<sup>۷</sup> و امنیت<sup>۸</sup> مربوط به مرحله آشکارسازی اطلاعات هستند.

در این مقاله بیشتر به بررسی مقاوم بودن طرح نهان‌نگاری پرداخته‌ایم. مقاومت نهان‌نگاری یکی از ویژگی‌های اساسی است که عملکرد و

پنهان‌سازی اطلاعات از کلمات یونانی Stegano و Graphei مشتق شده که به ترتیب به معنی پوشش و نوشتن است. به‌رغم شباهت‌های زیادی که بین پنهان‌سازی و نهان‌نگاری اطلاعات وجود دارد، اختلافاتی نیز بین این دو مقوله مطرح است. در پنهان‌سازی پیام باید نامرئی باشد در صورتی که در نهان‌نگاری پیام جاسازی شده می‌تواند مرئی یا نامرئی باشد. هدف اصلی از پنهان‌سازی اطلاعات مخفی کردن یک پیام داخل اطلاعات پوششی است به‌گونه‌ای که مهاجم نتواند آن را آشکار کند درحالی‌که هدف از نهان‌نگاری جاسازی پیام به داخل اطلاعات پوششی است به‌صورتی که قابل‌برداشت یا جایگذاری به‌وسیله شخص مزاحم نباشد. بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که نهان‌نگاری بهترین انتخاب برای حفظ امنیت یک تصویر دیجیتال است [۲]. شکل (۲) نمای کلی از یک سیستم امنیت داده و طرح کلی از یک سیستم نهان‌نگاری را نشان می‌دهد.

عصبی پس انتشار خطا برای جاسازی و استخراج نهان‌نگار مورد استفاده قرار می‌گیرد. در روش دوم سیستم واسط فازی برای تولید تابع وزن‌دار نهان‌نگار جهت جاسازی و استخراج نهان‌نگار مورد آزمایش قرار گرفته است. این روش تا برش ۳۵ درصد مورد آزمایش قرار گرفته است [۹]. بنابراین تا اینجا هیچ‌کدام از طرح‌ها نمی‌تواند برشی بیشتر از ۷۵ درصد را تحت پوشش قرار داده که در حجم اطلاعات جاسازی‌شده و هم در بحث تصادفی بودن برش محدودیت وجود دارد.

در [۱۰] تصویر میزبان به اجزاء رنگی تجزیه‌شده و نهان‌نگارهای باینری داخل اجزاء رنگی جاسازی می‌شوند. با استفاده از عملگرهای جمع و ضرب بر روی نهان‌نگار استخراج شده، آن نهان‌نگاری که بالاترین میزان همبستگی نرمالایز شده را داشته باشد، نهان‌نگاری است که به‌درستی استخراج شده است. این روش برای حملات برش ۹۰ درصد نیز امتحان شده است. در این روش برای سه نهان‌نگار مختلف از ۱۰ عملیات ترکیبی جمع و ضرب استفاده شده است. از محدودیت‌های این طرح می‌توان به انجام عملیات زیاد برای استخراج نهان‌نگار صحیح اشاره کرد. در [۱۱] از سودوکو برای نهان‌نگاری اطلاعات استفاده شده است. با استفاده از سودوکوی  $9 \times 9$  و ۹ کپی از تصویر نهان‌نگار، درصد برش برای بازیابی قسمتی از تصویر مخفی‌شده تا ۹۴ درصد افزایش یافته است. یکی از محدودیت‌های طرح [۱۱] این است که با اعمال برش، تنها قادر به بازیابی بخشی از اطلاعات جاسازی‌شده هستیم و تصویر نهان‌نگاری شده به‌صورت کامل قابل بازیابی نیست. همچنین محدودیت دیگر این است که جهت آشکارسازی اطلاعات، دانستن کد جدول سودوکو الزامی است.

در بخش دوم مقاله نهان‌نگاری در حوزه مکان و تبدیلات را بررسی خواهیم کرد. سپس در بخش سوم معیارهای ارزیابی تصویر نهان‌نگاری شده ارائه می‌شود. در بخش چهارم طرح پیشنهادی و نتایج آن بررسی می‌گردد، در بخش پنجم مقایسه طرح‌های نهان‌نگاری و در نهایت در بخش ششم نتیجه‌گیری مقاله ارائه خواهد شد.

## ۲- حوزه‌های مختلف نهان‌نگاری

به‌طور کلی الگوریتم‌های نهان‌نگاری به دو بخش اصلی حوزه مکان<sup>۲۴</sup> و حوزه تبدیلات<sup>۲۵</sup> تقسیم می‌شوند. در ادامه ویژگی‌های هر گروه بیان شده است.

### ۲-۱- نهان‌نگاری در حوزه مکان

جاسازی نهان‌نگاری در حوزه مکان در اجزای تصویر پوشش یک روش سراسر است. این روش یکی از طرح‌های اساسی مورد استفاده قرار گرفته از آغاز نهان‌نگاری دیجیتال از سال ۱۹۹۳ است. معمولاً طرح‌های نهان‌نگاری مبتنی بر حوزه مکان تعدادی از پیکسل‌های تصویر پوشش را انتخاب می‌کنند و مقادیر روشنایی این پیکسل‌های انتخابی را با توجه به بیت‌های نهان‌نگار که جاسازی می‌شوند تغییر می‌دهند. تصویر، حاوی این پیکسل‌های تغییر یافته است بنابراین از این به بعد تصویر اطلاعات نهان‌نگار را حمل می‌کند. برای استخراج یا آشکارسازی نهان‌نگار جاسازی‌شده، معمولاً همان پیکسل‌های استفاده

کاربرد نهان‌نگاری تصویر دیجیتال را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در الگوریتم نهان‌نگاری مقاوم، اطلاعات جاسازی‌شده باید پس از اعمال اعوجاج<sup>۲۶</sup> و رسیدن به مقصد قابل آشکارسازی باشند. مقاومت به معنی توانایی تشخیص اطلاعات نهان‌نگاری پس از اعمال اعوجاج‌های تصویر است. اگرچه نهان‌نگاری‌هایی که در مقابل تمام اعوجاج‌ها مقاوم باشند به نظر مطلوب می‌آید اما در عمل ممکن است تنها بخشی از پایداری و مقاومت نهان‌نگار را نیاز داشته باشیم.

نهان‌نگاری را می‌توان بر اساس مقاومت به چهار دسته نهان‌نگاری مقاوم<sup>۲۷</sup>، نهان‌نگاری شکننده<sup>۲۸</sup>، نهان‌نگاری نیمه شکننده<sup>۲۹</sup> و نهان‌نگاری ترکیبی<sup>۳۰</sup> تقسیم نمود. هر سیگنال نهان‌نگاری شده در مسیر رسیدن به مقصد ممکن است دچار اعوجاج شده و یا مورد حمله‌های بدخواهانه<sup>۳۱</sup> یا غیر عمدی<sup>۳۲</sup> قرار بگیرد. از جمله این اعوجاج‌ها می‌توان به پردازش‌های رایج تصویر، تبدیلات هندسی<sup>۳۳</sup> و یا فشرده‌سازی<sup>۳۴</sup> تصویر اشاره نمود. از جمله پردازش‌های رایج تصویر، تنظیم کنتراست<sup>۳۵</sup> و هموارسازی تصویر<sup>۳۶</sup> و یا برش<sup>۳۷</sup> تصویر است. از تبدیلات هندسی نیز می‌توان به چرخش<sup>۳۸</sup>، مقیاس دهی<sup>۳۹</sup> و انتقال<sup>۴۰</sup> تصویر اشاره نمود [۴].

مثال‌هایی از این حملات شامل تغییر مقیاس تصاویر برای یک وب‌سایت یا برش یک تصویر به‌منظور استخراج ناحیه مطلوب آن است. در برش یک حمله‌کننده بخش خاصی از ناحیه مطلوب تصویر را حذف می‌کند، درحالی‌که بخش‌های دیگر بدون تغییر باقی می‌ماند. به همان اندازه که میزان برش ناحیه افزایش می‌یابد، خرابی تصویر بزرگ‌تر می‌شود و آشکارسازی و استخراج اطلاعات جاسازی‌شده دشوارتر می‌گردد [۵].

### ۲-۲- مروری بر کارهای انجام‌شده تاکنون

تاکنون روش‌های متفاوتی برای مقاوم‌سازی تصویر نهان‌نگاری شده در مقابل برش مورد استفاده قرار گرفته است.

در [۶] پنج مجموعه اطلاعات با حجم ۴ کیلوبایت در تصویر جاسازی‌شده که چهار مجموعه از این اطلاعات در گوشه‌ها و یک مجموعه از اطلاعات در مرکز تصویر جاسازی‌شده است. در این روش که با برش ۷۵ درصدی اطلاعات قابل بازیابی است، نیازمند تصویر مرجع هستیم و در نتیجه نهان‌نگاری کور نیست.

در مقاله‌ای دیگر اطلاعاتی با حجم بزرگ‌تر یعنی ۲۲ کیلوبایت، در اجزای رنگی تصویر جاسازی‌شده اما برش بیشتر از ۵۰ درصد را تحت پوشش قرار نداده و نیازمند تصویر مرجع برای استخراج اطلاعات هستیم [۷].

در [۸] یک الگوریتم نهان‌نگاری مقاوم بر اساس تبدیل موجک گسسته و سیستم بینایی انسان پیشنهاد شده است. در این روش تصویر نهان‌نگار پس از اعمال تبدیل آرنولد روی آن، در تصویر میزبان جاسازی می‌گردد. این الگوریتم یک نهان‌نگاری کور است اما تا برش ۲۵ درصد تصویر نهان‌نگاری شده مورد آزمایش قرار گرفته است.

در مقاله دیگر برای جاسازی نهان‌نگار داخل تصویر میزبان از دو روش کوانتیزاسیون مبتنی بر شبکه عصبی پس انتشار خطا و سیستم واسط فازی استفاده شده است. در روش اول تصویر میزبان با استفاده از کوانتیزاسیون و موجک گسسته به سه سطح تجزیه می‌شود و شبکه

در این مقاله از میان تبدیلات به کار رفته در نهان‌نگاری تصاویر دیجیتال، از تبدیل کسینوسی گسسته و تبدیل موجک گسسته استفاده کرده‌ایم که در ادامه به بررسی و تشریح این دو تبدیل می‌پردازیم.

### ۲-۲-۱- تبدیل کسینوسی گسسته

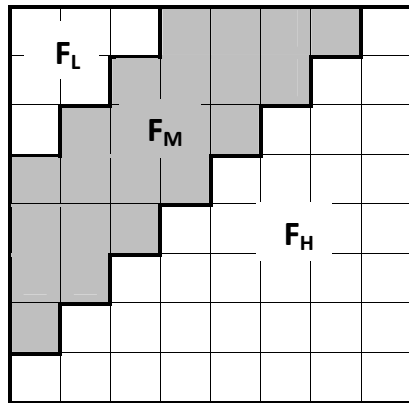
روش مبتنی بر تبدیل کسینوسی گسسته یک تکنیک مبتنی بر بلوک است. با استفاده از این تبدیل تصویر به سه باند فرکانسی تقسیم خواهد شد. نواحی فرکانس پایین (FL)، فرکانس متوسط (FM) و فرکانس بالا (FH) همان طوری که در شکل (۴) نشان داده شده است. ضرایب در نواحی FL بخش بزرگی از انرژی تصویر تبدیل‌شده را حمل می‌کنند. درحالی‌که ضرایب در FH شامل حداقل مقدار انرژی هستند [۴۵]. معادله مستقیم و معکوس دوبردی تبدیل کسینوسی گسسته در معادله (۱) و (۲) به ترتیب آورده شده است.

(۱)

$$G(u, v) = \frac{2}{\sqrt{mn}} \alpha(u)\alpha(v) \sum_{x=0}^{m-1} \sum_{y=0}^{n-1} g(x, y) \times \cos\left(\frac{(2x+1)u\pi}{2m}\right) \times \cos\left(\frac{(2y+1)v\pi}{2n}\right) \quad (2)$$

$$g(x, y) = \frac{2}{\sqrt{mn}} \sum_{u=0}^{m-1} \sum_{v=0}^{n-1} \alpha(u)\alpha(v) G(u, v) \times \cos\left(\frac{(2x+1)u\pi}{2m}\right) \times \cos\left(\frac{(2y+1)v\pi}{2n}\right)$$

که  $g(x, y)$  مقادیر پیکسل دامنه مکان است.  $G(U, V)$  ضریب DCT است. سایز بلوک با ضرایب  $m$  و  $n$  و  $\alpha$  در معادله (۳) محاسبه شده است.



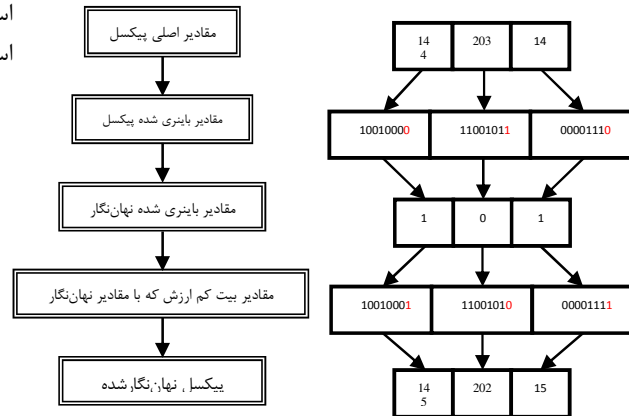
شکل (۴): نواحی مختلف در تبدیل کسینوسی گسسته [۵۴]

Fig. (4): DCT regions definition [54]

$$\alpha(u), \alpha(v) = \begin{cases} 1/\sqrt{2} & \text{if } u, v = 0 \\ 1 & \text{else} \end{cases} \quad (3)$$

ضرایب میانی زیر باندها از تبدیل کسینوسی گسسته معمولاً برای جاسازی نهان‌نگار و اجتناب از تغییرات بخش‌های بصری مهمی از تصویر که همان فرکانس‌های پایین است، مورد استفاده قرار می‌گیرند. علاوه بر این، سیستم‌های نهان‌نگاری مبتنی بر تبدیل کسینوسی گسسته مقاومت بیشتری در مقابل فشردگی دارند [۴۶]. ایراد روش‌های مبتنی بر تبدیل کسینوسی گسسته این است که اگر تصویر

شده در مرحله جاسازی باید از تصویر نهان‌نگار شده انتخاب شوند. سپس بر اساس استراتژی استفاده شده، بیت حمل شده داخل هر پیکسل می‌تواند آشکار شود. با جمع‌آوری تمام بیت‌های استخراج شده یا تمام نتایج آشکار شده، نهان‌نگار مخفی به دست می‌آید [۱۲]. این روش‌ها سریع و ساده هستند و ظرفیت بالایی برای جاسازی نهان‌نگار فراهم می‌کنند. مزیت دیگر این روش‌ها این است که یک نهان‌نگار کوچک می‌تواند چندین بار جاسازی شود به طوری که امکان حذف تمام نهان‌نگارها با هر نوع از حمله خیلی پایین است. بنابراین حتی نهان‌نگارهای بازمانده تکی ممکن است نیازها را برآورده کنند [۱۳، ۱۴]. با این حال روش‌های حوزه مکان نمی‌توانند در مقابل نویز یا حملات فشرده‌سازی با اتلاف نجات یابند [۱۵]. یکی از فن‌های حوزه مکان این است که نهان‌نگار داخل بیت‌های بارز کم‌تر<sup>۲۶</sup> از تصویر میزبان جاسازی شود. همان طور که در شکل (۳) نشان داده شده تصویر ورودی ابتدا با روش LSB باینری می‌شود. سپس بیت‌های سمت راست هر پیکسل با بیت‌های نهان‌نگار ورودی جایگزین می‌شوند و نهایتاً مقادیر پیکسل باینری تغییر یافته دوباره به مقادیر پیکسل ده‌دهی تبدیل می‌شوند [۱۶، ۱۷].



شکل (۳): فرآیند نهان‌نگاری با روش LSB [۴]

Fig. (3): LSB watermarking procedure [4]

### ۲-۲-۲- نهان‌نگاری در حوزه تبدیلات

در نهان‌نگاری حوزه تبدیلات، قبل از جاسازی نهان‌نگار تبدیلاتی مانند تبدیل فوریه گسسته<sup>۲۷</sup> [۱۸، ۱۹]، تبدیل کسینوسی گسسته<sup>۲۸</sup> [۲۴]–[۲۰]، تبدیل موجک گسسته<sup>۲۹</sup> [۳۲]–[۲۵]، تبدیل موجک پیچیده درختی دوتایی<sup>۳۰</sup> [۳۳]، کانتورلت<sup>۳۱</sup> [۳۶]–[۳۴] و تبدیل تجزیه مقادیر تکی<sup>۳۲</sup> [۴۴]–[۳۷] در تصویر میزبان برای تولید ضرایب دامنه تبدیلات به کار می‌روند. تصویر نهان‌نگاری شده با تغییر این ضرایب تبدیلات به دست می‌آید. فاکتور مقاومت، با تغییر ضرایب که سیستم بینایی انسان<sup>۳۳</sup> حساسیت کمتری به آن دارد افزایش می‌یابد. در زیر تعدادی از تکنیک‌های حوزه تبدیلات مورد استفاده در نهان‌نگاری بررسی می‌شود.

### ۳- معیارهای ارزیابی نهان نگاری دیجیتال

برای ارزیابی تصویر نهان نگاری شده دو گروه معیار وجود دارد. اولی ارزیابی کیفیت تصویر نهان نگاری شده و دومی اندازه گیری صحت نهان نگار استخراج شده است.

۳-۱- ارزیابی غیر قابل مشاهده بودن<sup>۳۹</sup> تصویر نهان نگاری شده: با جاسازی یک نهان نگار در یک تصویر پوشش، برخی اعوجاجها روی تصویر رخ می دهد.

در این معادلات  $I(i,j)$ ، تصویر اصلی را معرفی می کند و  $I_w$  تصویر نهان نگاری شده و ابعاد تصویر  $N \times M$  است  $[\Delta 1], [\Delta 3], [\Delta 4]$ .

میانگین مربعات خطا<sup>۴۰</sup> (MSE):

میانگین مربعات خطا بین تصویر اصلی و نهان نگاری شده در معادله (۵) نشان داده شده است.

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} (I(i, j) - I_w(i, j))^2; \quad (5)$$

نسبت دامنه سیگنال به نویز<sup>۴۱</sup> (PSNR):

نسبت دامنه سیگنال به نویز بین تصویر اصلی و نهان نگاری شده در معادله (۶) زیر به دست می آید:

$$PSNR(I, I_w) = 10 \times \log_{10} \frac{(MAX_I)^2}{MSE}; \quad (6)$$

که در آن  $Max_I$  ماکزیمم مقدار ممکن پیکسل تصویر اصلی است. PSNR بزرگتر به این معنی است که تصویر اصلی و نهان نگاری شده بیشتر به یکدیگر شبیه هستند. برای داشتن مقدار وضوح قابل درک PSNR باید بزرگتر از ۳۰ دسی بل باشد.

شباهت ساختاری<sup>۴۲</sup> (SSIM):

این روش یک اندازه گیری شباهت بین دو تصویر است. شباهت ساختاری می تواند مقادیر بین -۱ و +۱ را داشته باشد. هنگامی که شباهت ساختاری مقدار +۱ شود به این معنی است که دو تصویر کاملاً به یکدیگر شبیه هستند. شباهت ساختاری با معادله (۷) نشان داده می شود.

$$SSIM(I, I_w) = \frac{(2\mu_I \mu_{I_w} + c_1)(2cov + c_2)}{(\mu_I^2 + \mu_{I_w}^2 + c_1)(\sigma_I^2 + \sigma_{I_w}^2 + c_2)}; \quad (7)$$

$$\begin{cases} c_1 = (k_1 L)^2 & k_1 = 0.01; \\ c_2 = (k_2 L)^2 & k_2 = 0.03. \end{cases}$$

که در آن  $\mu_I$  و  $\mu_{I_w}$  به ترتیب میانگین  $I$  و  $I_w$  هستند و  $\sigma_I^2$  و  $\sigma_{I_w}^2$  به ترتیب واریانس  $I$  و  $I_w$  هستند.  $cov$  کوواریانس  $I_w$  و  $I$  و  $c_2$  متغیرهایی برای ثابت کردن تقسیم با مخرج ضعیف است و  $L$  رنج دینامیکی مقادیر پیکسل هاست.

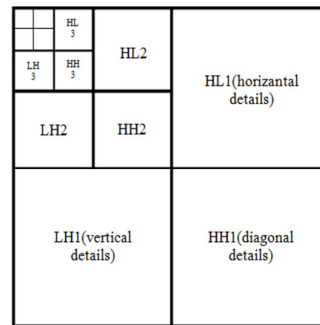
وفاداری تصویر<sup>۴۳</sup> (IF):

این اندازه گیری شباهت بین تصویر نهان نگاری شده و نهان نگاری نشده را نشان می دهد. به عبارت دیگر وفاداری مقدار غیر قابل مشاهده بودن نهان نگار در یک تصویر نهان نگار شده است. مقدار بالاتر IF، مقدار

اصلی خراب شوند حالت برگشتناپذیری آن به گونه ای است که نمی توان اطلاعات را به دقت بازیابی کرد [۴۷].

### ۲-۲-۲- تبدیل موجک گسسته

تبدیل موجک گسسته یک ابزار قدرتمند ریاضی است که در کاربردهای مختلفی از جمله پردازش و تجزیه تصویر بسیار مورد استفاده قرار می گیرد. توانایی های چند مقیاسه<sup>۴۴</sup> از تبدیل موجک که ویژگی های عمومی و محلی یک سیگنال را برجسته می کند، آن را به ابزار کارآمدی در پردازش تصویر و در نرم افزارهای نهان نگاری تبدیل کرده است.



شکل (۵): تجزیه تصویر با استفاده از تبدیل موجک  
Fig. (5): Wavelet decompositions of an image

همان طور که در شکل (۵) می بینیم تبدیل موجک تصویر را به چهار باند از فرکانس مختلف تقسیم می کند. این چهار باند به صورت بخش تقریب تصویر<sup>۴۵</sup>  $(LL_K)$ ، جزئیات افقی<sup>۴۶</sup>  $(HL_K)$ ، جزئیات عمودی<sup>۴۷</sup>  $(LH_K)$  و جزئیات مورب<sup>۴۸</sup>  $(HH_K)$  که در آن ها  $K$  به سطح تجزیه اشاره می کند. این فرآیند را می توان بارها و بارها در بخش تقریب یا همان  $(LL_1)$  تا رسیدن به یک مقیاس نهایی اعمال کرد [۲۸, ۲۵]. [۴۸]. در کاربردهای نهان نگاری سطوح تجزیه پایین تر آسیب پذیری بیشتری نسبت به تغییرات تصویر دارند چون انرژی پایین تری نسبت به سطوح تجزیه بالاتر دارند. انرژی در معادله (۴) نشان داده شده است.

$$E_K = \frac{1}{M_K N_K} \sum_i \sum_j |I_K(i, j)|; \quad (4)$$

$K$  سطح تجزیه است و  $I_K$  به ضرایب زیر باندهای مربوطه اشاره می کند و  $M_K$  و  $N_K$  ابعاد زیر باندها است. با مقایسه انرژی زیر باندها در همان سطح به عنوان مثال  $(HH_3, LH_3, HL_3, LL_3)$  می توان دید که انباشت انرژی در ضرایب جزئیات افقی یا همان  $HL_K$  به طور قابل توجهی بیشتر از ضرایب عمودی و مورب است. بنابراین زیرباند افقی در مقابل تغییرات تصویر مقاوم تر هستند. به عبارت دیگر حتی اگر تقریب تصویر دارای بالاترین بخش از انرژی تصویر اصلی باشد با جاسازی نهان نگار در این بخش کیفیت تصویر کاهش می یابد. بنابراین به منظور دستیابی به حفظ کیفیت تصویر، زیرباند افقی در هر سطح را می توان به عنوان بهترین منطقه برای جاسازی نهان نگار انتخاب کرد [۳۲], [۴۹], [۵۰].

هر رقم یا سمبل در هر سلول یک محدودیت وجود دارد. هر رقم یا سمبل نمی‌تواند دو بار در سطر یا ستون یا در یک ناحیه تکرار شود. یک سودوکوی کلاسیک جدولی است که هدفش استفاده از ارقام ۱ تا ۹ برای پر کردن شبکه ۹×۹ است. یک شبکه سودوکوی کلاسیک شامل ۹ ناحیه ۳×۳ است که با ارقام ۱ تا ۹ پر می‌شود. هر سطر و ستون از شبکه سودوکو شامل ارقام متفاوت از ۱ تا ۹ است.

یکی از ویژگی‌های مهم جدول سودوکو این است که محدودیت‌های سودوکو موجب پراکنده شدن سمبل‌ها یا اعداد به صورت یکنواخت و عادلانه در سرتاسر جدول می‌شود. ویژگی مهم دیگر جدول، راه‌حل منحصر به فرد آن است. داشتن یک راه‌حل منحصر به فرد ترتیب صحیحی را که باید به صورت افقی و عمودی و قطری اطراف یک سلول بخصوص به دست آید، تضمین می‌کند [۱۱].

Felgenhauer و Jarvis در سال ۲۰۰۶ راه‌حل‌های جدول ۹×۹ را برای یافتن تعداد کل راه‌حل‌های ممکن که حدوداً برابر ۱۰۲۱×۶۶۷۱ است، مورد بررسی قرار دادند [۵۵].

در سال ۲۰۰۷ نشان داده شد که اگر تقارن‌های متفاوت مانند چرخش یا انعکاس انجام شود تعداد راه‌حل‌های ممکن جدول ۹×۹، به تعداد ۵۴۸۰۷۳۰۷۲۴۵، راه‌حل تقلیل می‌یابد.

تاکنون تحقیقات اندکی در مورد کاربرد جدول سودوکو برای مخفی کردن و ایمن‌سازی اطلاعات انجام گرفته است.

Ren و Wu در سال ۲۰۰۹ یک سیستم رمزنگاری تصویر با استفاده از سودوکو و نقشه نامنظم پیشنهاد دادند. یک راه‌حل انتخابی سودوکو به‌عنوان راهنمای تغییرات روشنایی پیکسل به منظور پی بردن به وجود اطلاعات مخفی مورد استفاده قرار گرفت [۵۶].

Chou و همکارانش در سال ۲۰۱۰ یک طرح مخفی سازی اطلاعات با استفاده از سودوکو پیشنهاد دادند که تصویر اصلی را به شکل سه تصویر سایه ۴۷ تبدیل کردند که اطلاعات رمز را حمل می‌کردند. برای بازیابی اطلاعات حداقل به دو تصویر سایه نیاز است. کار مشابهی در همان سال توسط Chang و همکارانش انجام گرفت که البته بازیابی بدون تلفات در رمز جاسازی شده را به همراه داشت [۵۷].

طرح دیگری با به کارگیری روش سایه-سودوکو به وسیله Roshan و همکارانش در سال ۲۰۰۹ پیشنهاد شد. در این روش از دو جزء رنگی تصویر مانند قرمز و سبز و از ماتریس ۲۷×۲۷ به جای ماتریس ۲۵۶×۲۵۶ استفاده شده است.

نایینی و همکارانش در سال ۲۰۱۰ یک طرح نهان‌نگاری با استفاده از سودوکو پیشنهاد دادند که در مقابل فشرده‌سازی JPEG مقاوم بود. بیت‌های پیام مخفی در طول لبه با استفاده از جدول ۱۶×۱۶ با اعداد غیرتکراری مخفی شده بود [۵۸]. نویسندگان این مقاله ادعا کرده بودند که این طرح در مقابل برش مقاوم است اما نشان داده شد که مقاومت در برابر برش به ناحیه برش داده شده بستگی دارد و در واقع این طرح، برش‌های تصادفی را تحت پوشش قرار نمی‌دهد [۱۱].

بیشتر غیرقابل مشاهده بودن اطلاعات جاسازی شده در یک تصویر نهان‌نگاری شده است. وفاداری تصویر با معادله (۸) بیان می‌شود.

$$IF = 1 - \frac{\sum_{i,j} (I(i, j) - I_w(i, j))^2}{\sum_{i,j} (I(i, j))^2}; \quad (8)$$

### ۲-۲- ارزیابی مقاوم بودن نهان‌نگار استخراج شده:

برای اطلاعات رشته باینری، متریک‌های کمی می‌تواند برای اندازه‌گیری قابلیت اطمینان از یک نهان‌نگار استخراج شده مورد استفاده قرار گیرد. در معادلات زیر  $W(i,j)$  نهان‌نگار اصلی را معرفی می‌کند در حالی که  $W(i,j)$  نهان‌نگاری استخراج شده است [۵۱].

### همبستگی بهنجار شده $^{44}(NC)$ :

همبستگی بهنجار شده یا NC برای اندازه‌گیری شباهت بین نهان‌نگار اصلی و استخراج شده مورد استفاده قرار می‌گیرد. مقدار کمینه و بیشینه این ماتریس به ترتیب ۰ و ۱ است.

$$NC = \frac{\sum_i \sum_j W(i, j) W'(i, j)}{\sqrt{\sum_i \sum_j W'^2(i, j)} \times \sqrt{\sum_i \sum_j W^2(i, j)}}; \quad (9)$$

### نرخ خطای بی‌تی $^{45}(BER)$ :

هنگامی که نهان‌نگار یک رشته باینری است نرخ خطای بی‌تی احتمال الگوهای باینری که به درستی رمزگشایی شده است را نشان می‌دهد. بنابراین مقدار پایین‌تر نرخ خطای بی‌تی عملکرد بهتر سیستم را نشان می‌دهد که این معیار با معادله (۱۰) محاسبه می‌گردد.

$$BER = \frac{DB}{NB}; \quad (10)$$

که در این معادله DB تعداد بیت‌هایی است که به صورت نادرست رمزگشایی شده و NB تعداد کل بیت‌های نهان‌نگار اصلی است.

### نسبت دقت $^{46}(AR)$ :

این معیار برای نشان دادن شباهت بین تصویر نهان‌نگار شده و تصویر اصلی به کار می‌رود و با معادله (۱۱) بیان می‌شود. هرچه AR به یک نزدیک‌تر باشد شباهت نهان‌نگاری استخراج شده با نهان‌نگار اصلی بیشتر است.

$$AR = \frac{CB}{NB}; \quad (11)$$

در این معادله CB تعداد بیت‌های درست و NB تعداد کل بیت‌های نهان‌نگار اصلی است.

### ۴- طرح نهان‌نگاری پیشنهادی

#### ۴-۱- جدول سودوکو

یک جدول سودوکو شامل یک شبکه سطری ستونی نیمه‌کاره از سلول‌هاست که به N ناحیه با N سلول بخش‌بندی شده است که با مجموعه‌ای از N سمبل متمایز با ارقام  $\{1, 2, \dots, N\}$  پر می‌شود. برای

## ۲-۴- جاسازی اطلاعات با استفاده از جدول سودوکو در طرح پیشنهادی

تصویر میزبان C با ابعاد  $m_c \times n_c$  و تصویر نهان نگار W را نیز با ابعاد  $m_w \times n_w$  را در نظر می‌گیریم که m و n به ترتیب ارتفاع و عرض تصاویر هستند. یک جدول سودوکو شامل یک شبکه سطر و ستونی از سلول‌هاست که به N ناحیه که هر ناحیه دارای سایز N است و با N سمبل مجزا پر شده است، بخش‌بندی می‌شود.

$S_{i,j}$  به سلول در جدول سودوکو اشاره می‌کند که i موقعیت سلول در یک ناحیه و j موقعیت ناحیه در جدول S است. به عنوان مثال  $S_{2,3}$  نشان‌دهنده سلول دومی در ناحیه سوم است. یک مقدار برای هر سلول تعیین می‌شود که ما آن را v می‌نامیم. مقدار v از ۱ تا N است. در شکل (۶) موقعیت سلول و ناحیه در جدول سودوکوی انتخابی نشان داده شده است. هر جدول سودوکو شامل N ناحیه است و هر ناحیه شامل N سلول است بنابراین در جدول سودوکو  $N \times N$  سلول وجود دارد. هر کدام از سطرها و ستون‌ها و نواحی باید شامل اعداد ۱ تا N باشند که این اعداد تکراری نیز نباید باشند. بنابراین برای یک سلول سودوکو مقدار  $v_{i,j}$  تعیین می‌شود و  $S_{i,j}$  در فرمول (۱۲) بیان شده است:

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۸ | ۶ | ۱ | ۳ | ۵ | ۷ | ۴ | ۲ | ۹ |
| ۲ | ۵ | ۳ | ۸ | ۹ | ۴ | ۱ | ۶ | ۷ |
| ۹ | ۴ | ۷ | ۲ | ۱ | ۶ | ۵ | ۸ | ۳ |
| ۱ | ۸ | ۴ | ۹ | ۷ | ۲ | ۳ | ۵ | ۶ |
| ۵ | ۳ | ۲ | ۱ | ۶ | ۸ | ۹ | ۷ | ۴ |
| ۷ | ۹ | ۶ | ۴ | ۳ | ۵ | ۲ | ۱ | ۸ |
| ۶ | ۲ | ۹ | ۷ | ۴ | ۱ | ۸ | ۳ | ۵ |
| ۴ | ۷ | ۸ | ۵ | ۲ | ۳ | ۶ | ۹ | ۱ |
| ۳ | ۱ | ۵ | ۶ | ۸ | ۹ | ۷ | ۴ | ۲ |

شکل (۶): جدول سودوکوی انتخابی و نمایش ناحیه و سلول

Fig. (6): Selected Sudoku table and illustration of region and cell

$$S_{i,j} = v_{i,j}; \quad v \in 1..N, 1 \leq i \leq N, 1 \leq j \leq N. \quad (12)$$

RS سایز ناحیه سودوکو است که اندازه سطر و ستون هر ناحیه مطابق با فرمول (۱۳) و (۱۴) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$RS_{row} = \frac{m_c}{m_w} \times \sqrt{N}; \quad (13)$$

$$RS_{column} = \frac{n_c}{n_w} \times \sqrt{N}; \quad (14)$$

برای مشخص کردن اندازه نهان‌نگاری از (۱۵) استفاده می‌کنیم که در آن  $w_{org}$  نهان‌نگار اصلی و  $w_t$  نهان‌نگار تغییر سایز یافته است.

$$w_t = \text{resize}(w_{org}, RS_{row}, RS_{column}). \quad (15)$$

همان طور که هر ناحیه باید N سمبل یا رقم داشته باشد، تکه‌های نهان‌نگار  $w_t$  باید به تکه‌ها  $\sqrt{N} \times \sqrt{N}$  تقسیم شوند. به عنوان مثال اگر  $N=9$  باشد،  $w_t$  باید به تکه‌های  $3 \times 3$  تقسیم شود. تکه‌های نهان‌نگار از چپ به راست و از بالا به پایین مطابق با فرمول (۱۶) شماره‌گذاری می‌شوند.

$$w_t = \begin{bmatrix} w_{t1} & w_{t2} & w_{t3} \\ w_{t4} & w_{t5} & w_{t6} \\ w_{t7} & w_{t8} & w_{t9} \end{bmatrix}; \quad (16)$$

به صورت کلی در فرمول (۱۷) می‌نویسیم:

$$w_t = \{w_{t1}, w_{t2}, \dots, w_{tN}\}. \quad (17)$$

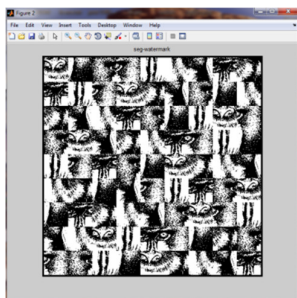
با استفاده از تکه‌های نهان‌نگار  $w_t$  و راه‌حل که S نامیده می‌شود یک تصویر نهان‌نگار بخش‌بندی شده ساخته می‌شود که  $w_{FBW}$  نام دارد و از نگاشت هر سلول به نهان‌نگار مربوط به خودش ساخته می‌شود. این نگاشت با معادله (۱۸) بیان می‌شود.

$$w_{FBW} = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^N S_{i,j} \rightarrow w_{tk};$$

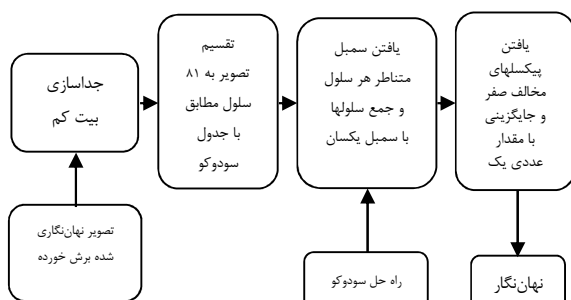
$$\text{where } \left\{ \begin{array}{ll} k=1 & \text{if } S_{i,j}=1 \\ k=2 & \text{if } S_{i,j}=2 \\ \dots & \dots \\ k=N & \text{if } S_{i,j}=N \end{array} \right\}. \quad (18)$$

در نتیجه ۹ کپی از نهان‌نگار باینری در ۸۱ سلول توزیع می‌شوند که با هم همپوشانی ندارند و به صورت یکسان در تصویر میزبان پراکنده شده‌اند. تغییر در راه حل ترتیب سلول‌های نهان‌نگار را تغییر می‌دهد اما ویژگی توزیع آن را حفظ می‌کند [۱۱].

چنانچه از تصویر فلفل با ابعاد  $512 \times 512$  پیکسل که از تصاویر استاندارد در جعبه‌ابزار پردازش تصویر برنامه مطلب است به عنوان تصویر میزبان و از تصویر میمون به عنوان تصویر نهان‌نگار استفاده کنیم، تصویر نهان‌نگار بخش‌بندی شده بر اساس جدول سودوکو مطابق با شکل (۷) است.



شکل (۷): تصویر نهان‌نگار بخش‌بندی شده بر اساس جدول سودوکو  
Fig. (7): Watermarking segmented image based on sudoku



شکل (۹): بلوک دیاگرام استخراج نهان‌نگار طرح پیشنهادی اول در مقابل برش تصویر

Fig. (9): Block diagram of Watermark extraction in first plan against cropping

نتایج اعمال طرح پیشنهادی اول در مقابل حملات برش ۸۷/۷ درصدی در شکل (۱۰) نشان داده شده است.



شکل (۱۰) - نتایج شبیه‌سازی طرح پیشنهادی اول در مقابل برش تصویر

Fig. (10): The simulation results of the first plan against cropping

#### ۴-۴- فرآیند نهان‌نگاری اطلاعات با استفاده از تبدیل

##### کسینوسی گسسته دوبعدی

##### الف) مرحله جاسازی نهان‌نگار

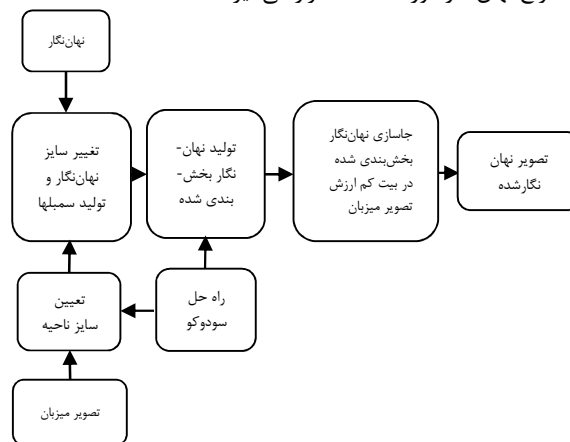
در این قسمت با استفاده از تبدیل کسینوسی گسسته که در بخش ۲-۱-۲ توضیح داده شد، طرح پیشنهادی دوم را ارائه می‌دهیم. ابتدا جدول سودوکو را به صورت باینری پشت سر هم قرار داده و یکرشته باینری از اطلاعات ایجاد می‌کنیم. شکل (۷) که از این پس آن را تصویر نهان‌نگار بخش‌بندی شده می‌نامیم، یک تصویر باینری است. در مرحله جاسازی نهان‌نگار، از تصویر بخش‌بندی شده تبدیل کسینوسی گسسته دوبعدی می‌گیریم و تصویر به دست آمده را به بلوک‌های  $8 \times 8$  تقسیم می‌کنیم و در هر بلوک یک بیت از رشته اطلاعات را قرار می‌دهیم. سپس تبدیل کسینوسی گسسته دوبعدی معکوس می‌گیریم. به دلیل تغییر در ضرایب، تصویر از حالت باینری خارج شده و به یک تصویر دوبیتی تبدیل می‌شود. سپس این اطلاعات را در بیت دوم و سوم

#### ۴-۳- فرآیند نهان‌نگاری اطلاعات با استفاده از روش LSB از

##### حوزه مکان

##### الف) مرحله جاسازی نهان‌نگار

در این قسمت با استفاده از روش LSB از حوزه مکان که در بخش ۲-۱-۱ توضیح داده شد، طرح پیشنهادی اول را ارائه می‌دهیم. تصویر نهان‌نگار بخش‌بندی شده یک تصویر باینری است که مقدار بیت‌های آن در بیت‌های کم‌ارزش تصویر اصلی جایگذاری می‌شوند و به این ترتیب تصویر نهان‌نگاری شده به دست می‌آید. لازم به ذکر است در این طرح جدول سودوکو هم در مرحله جاسازی و هم در مرحله استخراج نهان‌نگار مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل (۸): بلوک دیاگرام جاسازی نهان‌نگار طرح پیشنهادی اول

Fig. (8): block diagram of Watermark embedding in first plan

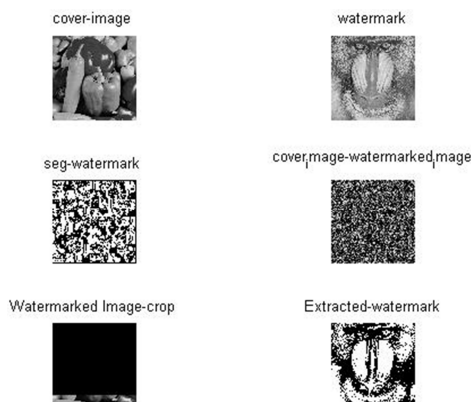
بلوک دیاگرام جاسازی نهان‌نگار طرح پیشنهادی اول در شکل (۸) نشان داده شده است.

##### ب) مرحله استخراج نهان‌نگار

در مرحله آشکارسازی پس از برش تصویر، ابتدا بیت کم‌ارزش تصویر نهان‌نگاری شده جدا کرده و یک تصویر باینری به دست می‌آوریم. تصویر به دست آمده را به ۸۱ بخش متناظر با سودوکو تقسیم کرده و در ادامه با فرض اینکه جدول سودوکو را داریم و عدد متناظر هر سلول را می‌دانیم، کلیه سلول‌هایی که سمبل متناظر آن‌ها یک است را با هم جمع کرده سپس در یک حلقه هر پیکسل که عددی مخالف صفر داشته باشد را با مقدار عددی یک جایگزین می‌کنیم و بر این اساس تصویر نهایی شکل می‌گیرد. در این روش شدت روشنایی محل‌هایی که برش خورده مقدار صفر خواهد داشت و جاهایی که برش نخورده عددی مخالف صفر دارد. بلوک دیاگرام استخراج نهان‌نگار طرح پیشنهادی اول در مقابل برش در شکل (۹) نشان داده شده است.



نتایج اعمال طرح پیشنهادی دوم در مقابل حملات برش ۸۳ درصدی در شکل (۱۳) نشان داده شده است.



شکل (۱۳): نتایج شبیه‌سازی طرح پیشنهادی دوم در مقابل برش تصویر  
Fig. (13): The simulation results of the second plan against cropping

#### ۴-۵- فرآیند نهان‌نگاری اطلاعات با استفاده از تبدیل موجک گسسته دوبعدی

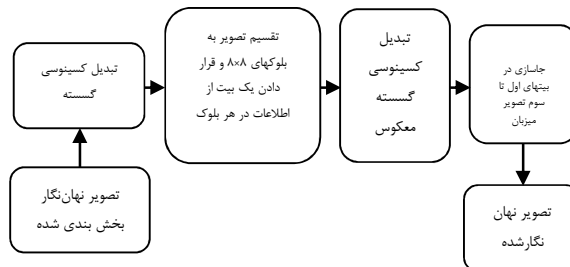
##### الف) مرحله جاسازی نهان‌نگار

در این قسمت با استفاده از تبدیل موجک گسسته که در بخش ۲-۲-۲ توضیح داده شد، طرح پیشنهادی سوم را ارائه می‌دهیم. در این طرح ۷ بیت از تصویر میزبان را جدا می‌کنیم و آن را تصویر میزبان تغییر یافته می‌نامیم. سپس تصویر میزبان تغییر یافته را به  $81 \times 56$  سلول پیکسلی تقسیم کرده و از هر سلول جداگانه تبدیل موجک گسسته می‌گیریم. عدد نسبت داده شده در جدول سودوکو به این سلول را به صورت باینری و با تکرار و با انتخاب مقدار آستانه قابل قبول در زیرباند افقی تبدیل موجک قرار می‌دهیم. سپس از تصویر به دست آمده تبدیل موجک گسسته معکوس گرفته و تصویر به دست آمده را در محل خودش قرار می‌دهیم. این کار را برای هر  $81$  سلول تکرار می‌کنیم و سپس نهان‌نگاری بخش‌بندی شده را در بیت کم‌ارزش تصویر میزبان قرار داده و تصویر نهان‌نگاری شده را به دست می‌آوریم.

بلوک دیاگرام جاسازی نهان‌نگاری طرح پیشنهادی سوم در شکل (۱۴) نشان داده شده است.

تصویر میزبان و تصویر نهان‌نگار بخش‌بندی شده را در بیت اول تصویر میزبان قرار می‌دهیم.

بلوک دیاگرام جاسازی نهان‌نگار طرح پیشنهادی دوم در شکل (۱۱) نشان داده شده است.

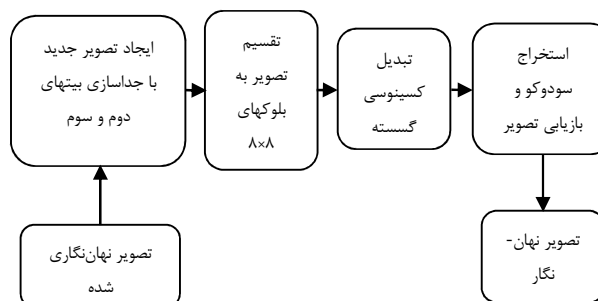


شکل (۱۱): بلوک دیاگرام جاسازی نهان‌نگار طرح پیشنهادی دوم  
Fig. (11): Block diagram of Watermark embedding in second plan

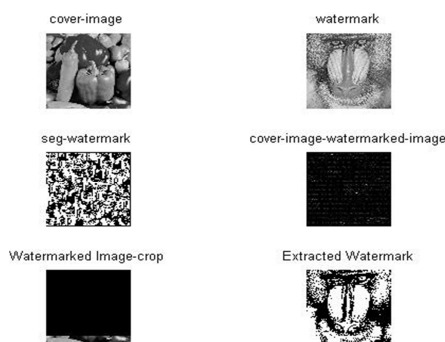
##### ب) مرحله استخراج نهان‌نگار

در مرحله آشکارسازی نهان‌نگار، بیت‌های دوم و سوم از تصویر نهان‌نگار شده را جدا کرده و تصویر به دست آمده از بیت‌های دوم و سوم را به بلوک‌های  $8 \times 8$  تبدیل می‌کنیم. از هر بلوک تبدیل کسینوسی گسسته دوبعدی می‌گیریم و سپس اطلاعات را به صورت باینری جدا می‌کنیم. اطلاعات را از حالت باینری به جدول سودوکو باز می‌گردانیم و با کمک جدول سودوکوی به دست آمده و جاسازی بیت اول از تصویر نهان‌نگاری شده، تصویر میمون را به صورت کامل بازیابی می‌کنیم. در این روش ما از تصویر مرجع در مرحله آشکارسازی استفاده نکردیم و در نتیجه نهان‌نگاری کور است. با توجه به اینکه در آشکارسازی ۹ تصویر میمون به دست می‌آید، چنانچه برشی روی تصویر نهان‌نگار شده اعمال گردد می‌توان تصویر میمون را به صورت قابل قبولی استخراج نمود.

بلوک دیاگرام استخراج نهان‌نگار طرح پیشنهادی دوم در شکل (۱۲) نشان داده شده است.



شکل (۱۲): بلوک دیاگرام استخراج نهان‌نگار در طرح پیشنهادی دوم  
Fig. (12): Block diagram of Watermark extraction in second plan



شکل (۱۶): نتایج شبیه‌سازی طرح پیشنهادی سوم در مقابل برش تصویر  
Fig. (16): The simulation results of the third plan against cropping

همان طوری که در شکل (۱۶) مشخص است پس از اعمال برش ۸۶ درصد، تصویر نهان‌نگار به‌طور کامل استخراج شده است. این نتیجه، عملکرد مناسب تبدیلاتی مانند تبدیل موجک را در مقابل برش تصویر نهان‌نگاری شده نشان می‌دهد.

#### ۵- مقایسه طرح‌های نهان‌نگاری پیشنهادی

در این بخش معیارهای ارزیابی حاصل از اعمال سه طرح پیشنهادی در مقابل برش تصویر نهان‌نگاری شده در قالب جدول و نمودار نشان داده شده است.

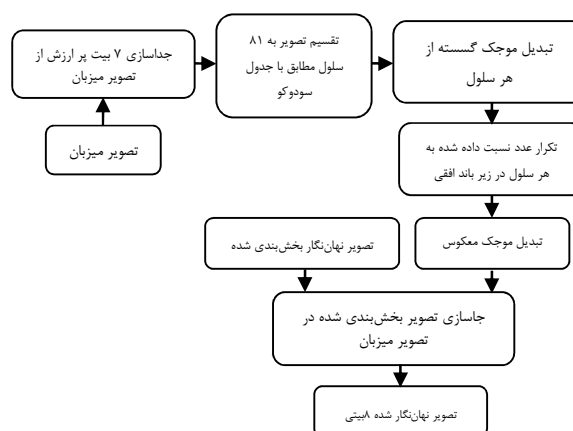
به عنوان مثال در جدول (۱) نتایج حاصل از برش ۸۸ درصدی بر روی تصویر نهان‌نگاری شده در هر سه روش پیشنهادی نشان داده شده است.

Table (1): Evaluating parameters for watermarked image

جدول (۱): معیارهای ارزیابی تصویر نهان‌نگاری شده

| معیار ارزیابی                    | روش LSB | ترکیب روش LSB و تبدیل کسینوسی گسسته | ترکیب روش LSB و تبدیل موجک گسسته |
|----------------------------------|---------|-------------------------------------|----------------------------------|
| نسبت دامنه سیگنال به نویز (PSNR) | ۵۰/۷۹   | ۳۷/۱۲                               | ۳۲/۲۸                            |
| میانگین مربعات خطا (MSE)         | ۰       | ۰                                   | ۰                                |
| نسبت دقت (AR)                    | ۱       | ۱                                   | ۱                                |
| وفاداری (IF)                     | ۱       | ۱                                   | ۱                                |
| همبستگی بهنجار شده (NC)          | ۱       | ۱                                   | ۱                                |
| شباهت ساختاری (SSIM)             | ۱       | ۱                                   | ۱                                |

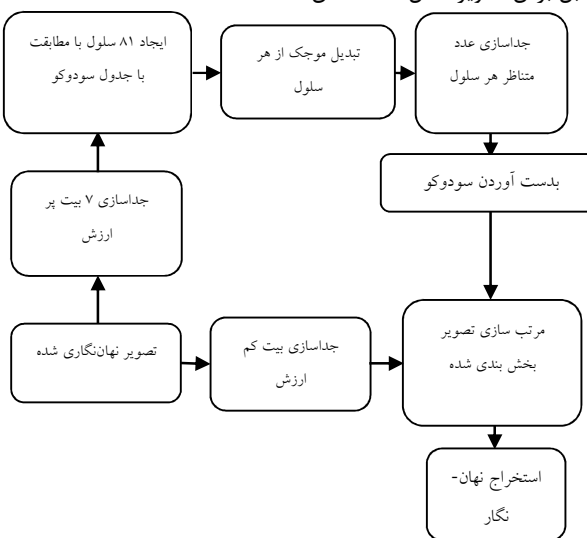
در شکل‌های (۱۷) تا (۲۱) نمودارهای نتایج مقایسه معیارهای ارزیابی سه روش پیشنهادی نشان داده شده است.



شکل (۱۴): بلوک دیاگرام جاسازی نهان‌نگار در طرح پیشنهادی سوم  
Fig. (14): Block diagram of Watermark embedding in third plan

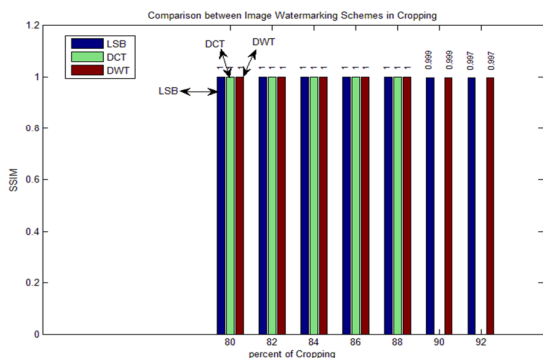
#### ب) مرحله استخراج نهان‌نگار

در مرحله آشکارسازی پس از برش تصویر، ۷ بیت تصویر نهان‌نگاری شده را جدا کرده و به‌صورت بلوک‌های ۹×۹ درمی‌آوریم و دوباره از هر کدام تبدیل موجک می‌گیریم. از زیر باند افقی تبدیل موجک عدد سلول متناظر را استخراج کرده و جدول سودوکو را تا حد ممکن کامل می‌کنیم. با به دست آوردن اولین ستون یا سطر کامل از جدول سودوکو که شامل تمام اعداد باشد، مطابق با شکل (۳-۸) تصویر نهان‌نگاری شده میمون را جداسازی می‌کنیم. در این روش ما از تصویر مرجع در مرحله آشکارسازی استفاده نکردیم و در نتیجه نهان‌نگاری کور است. بلوک دیاگرام استخراج نهان‌نگار طرح پیشنهادی سوم در مقابل برش تصویر شکل (۱۵) نشان داده شده است.

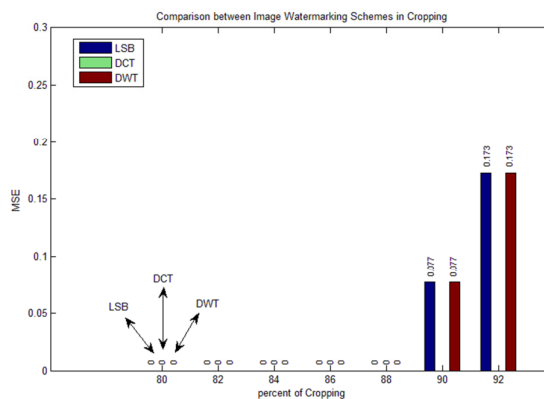


شکل (۱۵): بلوک دیاگرام استخراج نهان‌نگار در طرح پیشنهادی سوم  
Fig. (15): Block diagram of Watermark extraction in third plan

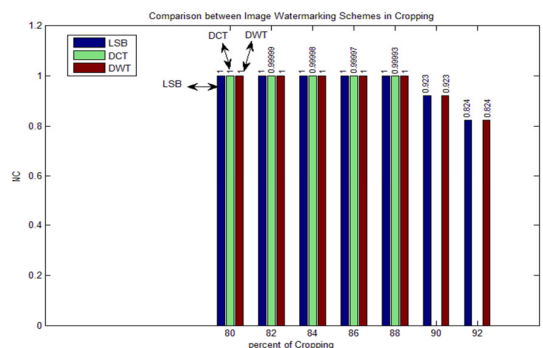
نتایج اعمال طرح پیشنهادی سوم در مقابل حملات برش ۸۶ درصدی در شکل (۱۶) نشان داده شده است.



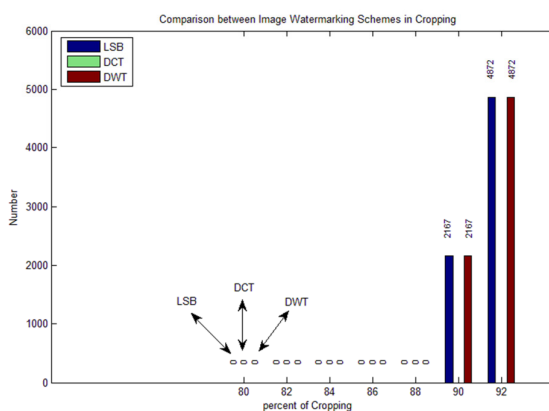
شکل (۲۰): نمودار مقایسه شباهت ساختاری در سه طرح پیشنهادی  
Fig. (20): Charts comparing the structural similarity in three plans



شکل (۱۷): نمودار مقایسه میانگین مربعات خطا در سه طرح پیشنهادی  
Fig. (17): Charts comparing the mean square error in three plans



شکل (۲۱): نمودار مقایسه همبستگی بهنجار شده در سه طرح پیشنهادی  
Fig. (21): Charts comparing the normalized correlation in three plans



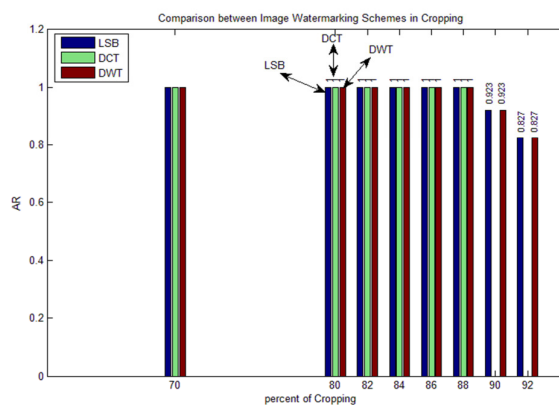
شکل (۱۸): نمودار مقایسه تعداد بیت‌های معیوب در سه طرح پیشنهادی  
Fig. (18): Charts comparing the number of defective bits in three plans

### ۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله طرح جدیدی برای مقاوم‌سازی نهان‌نگاری تصاویر دیجیتال با استفاده از جدول سودوکو در مقابل برش ارائه شد. با استفاده از ویژگی‌های سودوکو مانند پراکنده بودن اطلاعات در جدول و منحصر به فرد بودن راه‌حل جدول سودوکو و همچنین بهره‌گیری از مزایای نهان‌نگاری در حوزه تبدیلات مانند مقاومت در برابر حملات برش، به نتایج قابل قبولی در مقاوم‌سازی طرح نهان‌نگاری دست یافتیم. در این طرح از راه‌حل جدول سودوکو در مرحله آشکارسازی استفاده نکردیم و راه‌حل جدول با استفاده از سه طرح پیشنهادی، کشف شده و جهت مرتب‌سازی تصویر نهان‌نگار استخراج شده مورد استفاده قرار می‌گیرد. چون در مرحله استخراج نهان‌نگار از تصویر میزبان استفاده نکردیم، این نهان‌نگاری کور است. با مقایسه معیارهای حاصل از شبیه‌سازی این سه طرح پیشنهادی به این نتیجه می‌رسیم که تا برش ۸۸ درصد، تصویر نهان‌نگار به صورت کامل استخراج می‌شود و تا برش ۹۲ درصد معیارهای ارزیابی تصویر از جمله میانگین مربعات خطا، دارای مقادیر قابل قبولی در مقایسه با سایر طرح‌های پیشنهادی است که در جدول (۲) نشان داده شده است.

### سپاسگزاری

از استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر علیرضا نقش که در این پژوهش از راهنمایی و تعلیماتشان بهره بردم، صمیمانه سپاسگزاری می‌نمایم.



شکل (۱۹): نمودار مقایسه نسبت دقت در سه طرح پیشنهادی  
Fig. (19): Charts comparing the accuracy rate in three plans

طرح نهان‌نگاری پیشنهادی با استفاده از روش LSB در حوزه مکان و تبدیل موجک گسسته در مقابل برش بالاتر از ۸۸ درصد تصویر عملکرد بهتری از تبدیل کسینوسی گسسته دارند اگرچه مطابق با جدول (۱) نسبت سیگنال به نویز در طرح نهان‌نگاری با استفاده از تبدیل موجک گسسته نسبت به دو طرح دیگر افت پیدا کرده است.

Table (2): Compare the performance of other Watermarking plans with proposal to deal with cropping attacks

جدول (۲): مقایسه عملکرد سایر طرح‌های نهان‌نگاری با طرح پیشنهادی در مقابله با حملات برش

| معایب  | مزایا   | درصد برش | طرح‌های نهان‌نگاری   |
|--|---|----------|--|
| - نهان‌نگاری غیر کور<br>- غیر تصادفی بودن برش تصویر  | - استخراج نهان‌نگار به صورت کامل تا برش ۷۵ درصد   | ۷۵       | جاسازی پنج مجموعه اطلاعات نهان‌نگار در چهار گوشه و مرکز تصویر [۶]                  |
| - نهان‌نگاری غیر کور   | - افزایش حجم اطلاعات جاسازی شده   | ۵۰       | جاسازی اطلاعات نهان‌نگار در اجزاء رنگی تصویر [۷]                                   |
| - ناکارآمد بودن در برش‌های بالاتر از ۲۵ درصد   | - نهان‌نگاری کور  | ۲۵       | استفاده از تبدیل موجک گسسته و اعمال تبدیل آرنولد روی نهان‌نگار [۸]                 |
| - میانگین مربعات خطای بالا نسبت به میزان برش ۳۵ درصد<br>- ناکارآمد بودن در برش‌های بالاتر از ۳۵ درصد   | - نهان‌نگاری کور  | ۳۵       | استفاده از روش کوانتیزاسیون مبتنی بر شبکه عصبی پس انتشار خطا و سیستم واسط فازی [۹] |
| - عملیات زیاد جهت استخراج نهان‌نگار صحیح<br>- میانگین مربعات خطا در برش ۹۰ درصد ۰/۱۵۴۴ است در صورتی که در طرح پیشنهادی ما در این مقاله در برش ۹۰ درصد میانگین مربعات خطا، ۰/۰۷۶ است.<br>- مشخص نبودن تصویر نهان‌نگار استخراج شده | - مقاوم بودن نسبت به برش تصویر نهان‌نگاری شده   | ۹۰       | جاسازی اطلاعات نهان‌نگار در اجزاء رنگی تصویر و استفاده از عملگرهای جمع و ضرب [۱۰]  |
| - عدم توانایی استخراج نهان‌نگار در برش بالاتر از ۸۸ درصد در طرح پیشنهادی با استفاده از تبدیل کسینوسی گسسته   | - نهان‌نگاری کور<br>- مقاوم بودن نسبت به برش تصویر نهان‌نگاری شده<br>- استخراج کامل نهان‌نگار در برش ۸۸ درصد<br>- استخراج نهان‌نگار تا برش ۹۲ درصد در طرح پیشنهادی با میزان میانگین مربعات خطای ۰/۱۷۲<br>- عدم استفاده از راه‌حل جدول سودوکو در مرحله استخراج نهان‌نگار<br>- مقادیر مناسب معیارهای ارزیابی در مقایسه با طرح‌های پیشین | ۹۲       | طرح پیشنهادی در این مقاله  |

پی‌نوشت:

- |                            |   |
|----------------------------|---|
| 1- Watermark embedding     | 25- Transform Domain                            |
| 2- Watermark extraction    | 26- Least Significant Bit                       |
| 3- Cryptography            | 27- Discrete Fourier transform (DFT)            |
| 4- Steganography           | 28- Discrete-cosine transform (DCT)             |
| 5- Data Payload (Capacity) | 29- Discrete-wavelet transform (DWT)            |
| 6- Transparency            | 30- Dual tree complex wavelet transform (DTCWT) |
| 7- Robustness              | 31- Contourlet (CT)                             |
| 8- Security                | 32- Singular value decomposition (SVD)          |
| 9- Aliasing                | 33- Human visual system (HVS)                   |
| 10- Robust                 | 34- Multi scale                                 |
| 11- Fragile                | 35- Approximation image                         |
| 12- Semi-fragile           | 36- Horizontal                                  |
| 13- Hybrid                 | 37- Vertical                                    |
| 14- Malicious              | 38- Diagonal                                    |
| 15- Innocent               | 39- Imperceptibility                            |
| 16- Geometrical            | 40- Mean Square Error                           |
| 17- Compression            | 41- Peak-Signal-to-Noise Ratio                  |
| 18- Contrast               | 42- Structural Similarity                       |
| 19- Smoothing              | 43- Image Fidelity                              |
| 20- Cropping               | 44- Normalized Correlation                      |
| 21- Rotation               | 45- Bit Error Rate                              |
| 22- Scaling                | 46- Accuracy Ratio                              |
| 23- Translation            | 47- Shadows images                              |
| 24- Spatial Domain         |   |

### References

- [1] K. Heylen and T. Dams, "An image watermarking tutorial tool using Matlab," in Proc. of SPIE Vol, 2008, Vol. 7075, p. 70750D-1
- [2] S.P. Mohanty, K.R. Ramakrishnan, M. Kankanhalli, "A dual watermarking technique for images," In Proceedings of the seventh ACM international conference on Multimedia (Part 2), 1999, pp. 49-51.
- [3] A. Cheddad, J. Condell, K. Curran, P. Mc Kevitt, "Digital image steganography: Survey and analysis of current methods," Signal Processing, Vol. 90, No. 3, pp. 727-752, 2010.
- [4] S.M. Mousavi, A. Naghsh, S.A.R. Abu-Bakar, "Watermarking techniques used in medical images: a survey," J. Digit. Imaging, vol. 27, no. 6, pp. 714-729, 2014.
- [5] Pianhui Wu, "Research on Digital Image Watermark Encryption Based on Hyperchaos", A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, Faculty of Business, Computing and Law University of Derby, May 2013.
- [6] Aggarwal, A., Singla, M., "Robust watermarking of color image under noise and cropping attack in spatial domain", International Journal of Computer Science and Information Technologies, Vol. 2, No. 5, pp. 2036-2041, 2011.
- [7] Rawat, S., Raman, B., "A new robust watermarking scheme for color images", Proceedings of the IEEE 2nd International Advance Computing Conference, pp. 206-209, 2010.
- [8] Li Zhang, Xilan Yan, Hongsong Li, Minrong Chen, "A Dynamic Multiple Watermarking Algorithm Based on DWT and HVS", Int. J. Communication, Network and System Sciences, 2012.
- [9] Nallagarla Ramamurthy, Dr.s. Varadarajan, "Robust Digital Image Watermarking Scheme with Neural Network and Fuzzy Logic Approach", International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, Vol. 2, Issue 9, Sep. 2012.
- [10] Kiratpreet Singh, Rajneet Kaur, "Robust Watermarking Scheme Against Geometrical Attacks", Ijcsmc, Vol. 2, Issue. 4, April 2013, pp. 278-284.
- [11] Kamal Ahmad Khalid Shamsul, Mat Deris Mustafa, Malik Mohammad Kamaruddin, "Anti Cropping Digital Image Watermarking using Sudoku", International Journal of Grid and Utility Computing Vol. 4, Issue 2/3, Sep. 2013.
- [12] F.-H. Wang, J.-S. Pan, L.C. Jain, Innovations in digital watermarking techniques, vol. 232. Springer 2009.
- [12] Z. Wenyin, F.Y. Shih, "Semi-fragile spatial watermarking based on local binary pattern operators," Opt. Commun., Vol. 284, No. 16, pp. 3904-3912, 2011.
- [13] E.F. Badran, M. Sharkas, O. Attallah, and others, "Multiple watermark embedding scheme in wavelet-spatial domains based on ROI of medical images," In Radio Science Conference, NRSC 2009. National, pp. 1-8, 2009.
- [14] J.M. Zain, M. Clarke, "Reversible region of non-interest (RONI) watermarking for authentication of DICOM images," arXiv Prepr. arXiv:1101.1603, 2011.
- [15] A. Bamatraf, R. Ibrahim, M.N.B.M. Salleh, "Digital watermarking algorithm using LSB," in Computer Applications and Industrial Electronics (ICCAIE), 2010 International Conference on, 2011, pp. 155-159.
- [16] A.B. Dehkordi, S.N. Esfahani, A.N. Avanaki, "Robust LSB watermarking optimized for local structural similarity," in Electrical Engineering (ICEE), 2011 19th Iranian Conference on, 2011, pp. 1-6.
- [17] V. Solachidis, I. Pitas, "Circularly symmetric watermark embedding in 2-D DFT domain," Image Process. IEEE Trans., Vol. 10, No. 11, pp. 1741-1753, 2001.
- [18] M. Cedillo-Hernandez, F. Garcia-Ugalde, M. Nakano-Miyatake, H. Perez-Meana, "Robust watermarking method in DFT domain for effective management of medical imaging," Signal, Image Video Process., pp. 1-16, 2013.
- [19] S. Das, M.K. Kundu, "Hybrid contourlet-DCT based robust image watermarking technique applied to medical data management," in Pattern Recognition and Machine Intelligence, Springer, 2011, pp. 286-292.
- [20] B. Yang, M. Schmucker, W. Funk, C. Busch, S. Sun, "Integer DCT-based reversible watermarking for images using companding technique," in Electronic Imaging 2004, 2004, pp. 405-415.
- [21] J. Li, W. Du, Y. Bai, Y. Chen, "3D-DCT based zero-watermarking for medical volume data robust to geometrical attacks," in Wireless Communications and Applications, Springer, 2012, pp. 433-444.
- [22] B. Yang, M. Schmucker, X. Niu, C. Busch, S. Sun, "Reversible image watermarking by histogram modification for integer DCT coefficients," in Multimedia Signal Processing, 2004 IEEE 6th Workshop on, 2004, pp. 143-146.
- [23] M. Rohani, A.N. Avanaki, "A watermarking method based on optimizing SSIM index by using PSO in DCT domain," in 2009 14th International CSI Computer Conference, 2009.
- [24] H.-K. Lee, H.-J. Kim, K.-R. Kwon, J.-K. Lee, "ROI medical image watermarking using DWT and bit-plane," in Communications, 2005 Asia-Pacific Conference on, 2005, pp. 512-515.
- [25] M.-S. Wang, W.-C. Chen, "A hybrid DWT-SVD copyright protection scheme based on k-means clustering and visual cryptography," Comput. Stand. Interfaces, Vol. 31, No. 4, pp. 757-762, 2009.
- [26] M. Makhloghi, F.A. Tab, H. Danyali, "A new robust blind DWT-SVD based digital image watermarking," in Electrical Engineering (ICEE), 2011 19th Iranian Conference on, 2011, pp. 1-5.
- [27] M.R. Keyvanpour, F. Merrikh-Bayat, "Robust dynamic block-based image watermarking in DWT domain," Procedia Comput. Sci., Vol. 3, pp. 238-242, 2011.
- [28] T.-C. Lin, C.-M. Lin, "Wavelet-based copyright-protection scheme for digital images based on local features," Inf. Sci. (Ny.), Vol. 179, No. 19, pp. 3349-3358, 2009.

- [29] N.A. Memon, S.A.M. Gilani, "Adaptive data hiding scheme for medical images using integer wavelet transform," in *Emerging Technologies, 2009. ICET 2009. International Conference on*, 2009, pp. 221–224.
- [30] M. Arsalan, S.A. Malik, A. Khan, "Intelligent reversible watermarking in integer wavelet domain for medical images," *J. Syst. Softw.*, Vol. 85, No. 4, pp. 883–894, 2012.
- [31] S. Agreste, L. Puccio, "Wavelet-based watermarking algorithms: theory, applications and critical aspects," *Int. J. Comput. Math.*, Vol. 88, No. 9, pp. 1885–1895, 2011.
- [32] I.W. Selesnick, R.G. Baraniuk, N.G. Kingsbury, "The dual-tree complex wavelet transform," *Signal Process. Mag. IEEE*, Vol. 22, No. 6, pp. 123–151, 2005.
- [33] F. Rahimi, H. Rabbani, Others, "A dual adaptive watermarking scheme in contourlet domain for DICOM images," *Biomed. Eng. Online*, Vol. 10, No. 1, p. 53, 2011.
- [34] M.N. Do, M. Vetterli, "The contourlet transform: an efficient directional multiresolution image representation," *Image Process. IEEE Trans.*, Vol. 14, No. 12, pp. 2091–2106, 2005.
- [35] S. Khalighi, P. Tirdad, H.R. Rabiee, "A contourlet-based image watermarking scheme with high resistance to removal and geometrical attacks," *EURASIP J. Adv. Signal Process.*, Vol. 2010, p. 21, 2010.
- [36] V. Aslantas, "An optimal robust digital image watermarking based on SVD using differential evolution algorithm," *Opt. Commun.*, Vol. 282, No. 5, pp. 769–777, 2009.
- [37] A. Mansouri, A.M. Aznaveh, F.T. Azar, "Secure digital image watermarking based on SVD-DCT," in *Advances in Computer Science and Engineering*, Springer, 2009, pp. 645–652.
- [38] W. Al-Nuaimy, M.A.M. El-Bendary, A. Shafik, F. Shawki, A.E. Abou-El-azm, N.A. El-Fishawy, S.M. Elhalafawy, S.M. Diab, B.M. Sallam, F.E.A. El-Samie, and others, "An SVD audio watermarking approach using chaotic encrypted images," *Digit. Signal Process.*, Vol. 21, No. 6, pp. 764–779, 2011.
- [39] H.-H. Tsai, Y.-J. Jhuang, Y.-S. Lai, "An SVD-based image watermarking in wavelet domain using SVR and PSO," *Appl. Soft Comput.*, Vol. 12, No. 8, pp. 2442–2453, 2012.
- [40] M. Ali, C.W. Ahn, "An optimized watermarking technique based on self-adaptive DE in DWT--SVD transform domain," *Signal Processing*, Vol. 94, pp. 545–556, 2014.
- [41] B.Y. Lei, Y. Soon, Z. Li, "Blind and robust audio watermarking scheme based on SVD--DCT," *Signal Processing*, Vol. 91, No. 8, pp. 1973–1984, 2011.
- [42] C.-C. Lai, "An improved SVD-based watermarking scheme using human visual characteristics," *Opt. Commun.*, vol. 284, no. 4, pp. 938–944, 2011.
- [43] J.C. Patra, J.E. Phua, C. Bornand, "A novel DCT domain CRT-based watermarking scheme for image authentication surviving JPEG compression," *Digit. Signal Process.*, vol. 20, no. 6, pp. 1597–1611, 2010.
- [44] M. Ali, C.W. Ahn, M. Pant, "A robust image watermarking technique using SVD and differential evolution in DCT domain," *Opt. J. Light Electron Opt.*, vol. 125, no. 1, pp. 428–434, 2014.
- [45] O.S. Faragallah, "Efficient video watermarking based on singular value decomposition in the discrete wavelet transform domain," *AEU-International J. Electron. Commun.*, vol. 67, no. 3, pp. 189–196, 2013.
- [46] X. Guo, T. Zhuang, "A region-based lossless watermarking scheme for enhancing security of medical data," *J. Digit. Imaging*, vol. 22, no. 1, pp. 53–64, 2009.
- [47] M. Ali, C.W. Ahn, "An optimized watermarking technique based on self-adaptive DE in DWT--SVD transform domain," *Signal Processing*, vol. 94, pp. 545–556, 2014.
- [48] A. Giakoumaki, S. Pavlopoulos, D. Koutsouris, "Multiple image watermarking applied to health information management," *Inf. Technol. Biomed. IEEE Trans.*, vol. 10, no. 4, pp. 722–732, 2006.
- [49] B.L. Gunjal, S.N. Mali, "ROI based embedded watermarking of medical images for secured communication in telemedicine," *Int. J. Comput. Commun. Eng.*, vol. 6, no. 48, pp. 293–298, 2012.
- [50] V.S. Jabade, D.S. R. Gengaje, "Literature review of wavelet based digital image watermarking techniques," *Int. J. Comput. Appl.*, Vol. 31, No. 1, pp. 28–35, 2011.
- [51] N.G. Kingsbury, "The dual-tree complex wavelet transform: a new efficient tool for image restoration and enhancement," in *Proc. EUSIPCO*, 1998, vol. 98, pp. 319–322.
- [52] N.A. Memon, A. Chaudhry, M. Ahmad, Z.A. Keerio, "Hybrid watermarking of medical images for ROI authentication and recovery," *Int. J. Comput. Math.*, vol. 88, no. 10, pp. 2057–2071, 2011.
- [53] O.M. Al-Qershi, B.E. Khoo, "Authentication and data hiding using a hybrid ROI-based watermarking scheme for DICOM images," *J. Digit. Imaging*, vol. 24, no. 1, pp. 114–125, 2011.
- [54] B. Felgenhauer and F. Jarvis, "Mathematics of sudoku I," *Math. Spectr.*, vol. 39, no. 1, pp. 15–22, 2006.
- [55] W.-C. Wu, G.-R. Ren, "A new approach to image authentication using chaotic map and Sudoku puzzle," in *Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, 2009. IHH-MSP'09. Fifth International Conference on*, 2009, pp. 628–631.
- [56] C.-C. Chang, P.-Y. Lin, Z.H. Wang, M.C. Li, "A sudoku-based secret image sharing scheme with reversibility," *J. Commun.*, vol. 5, no. 1, pp. 5–12, 2010.
- [57] P.M. Naini, S.M. Fakhraie, A.N. Avanaki, "Sudoku bit arrangement for combined demosaicking and watermarking in digital camera," in *2010 Second International Conference on Advances in Databases, Knowledge, and Data Applications*, 2010, pp. 41–44.