

نهان نگاری مقاوم تصویر دیجیتال در برابر حمله‌ی برش و نویز نمک و فلفل با استفاده از سودوکوی دو مرحله‌ای

محمد شهاب گلی^(۱) - علیرضا نقش^(۲)

(۱) مرکز تحقیقات پردازش دیجیتال و بینایی ماشین، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران
دانشجوی کارشناسی ارشد مخابرات نوری- دانشکده مهندسی برق، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران
(۲) مرکز تحقیقات پردازش دیجیتال و بینایی ماشین، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران
استادیار- دانشکده مهندسی برق، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۸/۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۷/۹

خلاصه: امروزه از روش‌های زیادی برای نهان نگاری تصویر دیجیتال به عنوان یک حاشیه امن، جهت حفظ اطلاعات استفاده می‌شود، اما یک حمله‌کننده می‌تواند با برش بخشی از تصویر نهان نگاری یا اعمال نویز نمک و فلفل بر روی آن، اطلاعات را از بین ببرد. در سال‌های اخیر الگوهای زیادی برای مقابله با این حملات مطرح شده که تا حد زیادی اثرات ناشی از این حملات را کاهش می‌دهد. در این مقاله یک روش جدید برای مقابله با حمله برش و نویز نمک و فلفل معرفی شده است که با استفاده از دو جدول سودوکو صورت می‌پذیرد. در این روش، تصویر نهان نگار با استفاده از دو جدول سودوکو مختلف با حل‌های متفاوت چیدمان و در تصویر میزبان با روش کم‌اهمیت‌ترین بیت (LSB) نهان نگاری می‌گردد. با این روش، تصویر نهان نگار ۸۱ مرتبه در تصویر میزبان تکرار می‌شود و در این صورت، با برش تصویر نهان نگاری یا اعمال نویز نمک و فلفل توسط حمله‌کننده، می‌توان از نقاط دیگر برای بازسازی تصویر نهان نگار استفاده کرد. هر دو سودوکوی استفاده‌شده در این مقاله سودوکوهای کلاسیک بوده و با این روش، می‌توان مقاومت تصویر نهان نگار در برابر حمله برش تصادفی را به میزان ۹۸/۸٪ و در برابر نویز نمک و فلفل به میزان ۸۰٪ افزایش داد.
کلمات کلیدی: حمله‌ی برش، حوزه‌ی مکان، سودوکو، نویز نمک و فلفل، نهان نگاری.

Robust Digital Image Watermarking against Cropping and Salt & Pepper Noise Using Two-Step Sudoku

Mohammad Shahab Goli⁽¹⁾ - Alireza Naghsh⁽²⁾

(1) Digital Processing and Machine Vision Research center, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran
MSc student of Optical Telecommunications- Department of Electrical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran
m.shahabgoli0015@yahoo.com

(2) Digital Processing and Machine Vision Research center, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran
Assistant Professor- Department of Electrical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran
naghsh.a@pel.iaun.ac.ir

Abstract

Several methods are exploited to watermark digital images as a safety measure for storing information, but an attacker can destroy the information by cropping a segment of the watermarked image or doing salt and pepper noise. In recent years, numerous schemes were proposed that reduce the impact of such attacks. A new method has been proposed to confront cropping attack and salt and pepper noise that is carried out using two Sudoku tables. In this method, the watermark image is scattered in two Sudoku table layouts with different solutions and is watermarked in the host image with Least Significant Bit(LSB). Using this method, the watermark image is repeated 81 times in the host image, and to this effect the watermark image can be reconstructed using other segments when cropped or salt and pepper noised by the attacker. Both Sudokus used in this paper are in the classic and using this method, resistance to cropping attacks increases up to 98.8% and resistance to salt and pepper noise increases up to 80% .

Index Terms: Cropping attack, spatial domain, Sudoku, salt & pepper noise, watermarking.

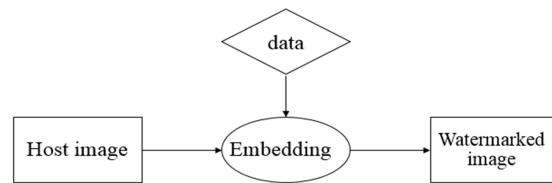
۱- مقدمه

امروزه اینترنت به عنوان یک سیستم ارتباطی پرکاربرد در جهان، نقش بسیار مهمی در تبادل اطلاعات بر عهده دارد. با توجه به گسترش ارتباطات از طریق سیستم‌های مجازی می‌توان گفت کیفیت و امنیت، دو فاکتور اساسی در ارسال اطلاعات به شمار می‌آیند. برای افزایش سطح امنیت می‌توان از دو روش رمزنگاری^۱ و مخفی کردن اطلاعات^۲ استفاده نمود. در روش رمزنگاری در صورتی که کلید آشکار شود دیگر تضمینی برای حفظ اطلاعات وجود نخواهد داشت. لذا از روش مخفی کردن داده که از این منظر دارای امنیت بالاتری است، استفاده می‌گردد [۱].

مخفی کردن داده به معنای دور از دسترس قرار دادن اطلاعات مهم و جاسازی^۳ آن درون اطلاعات کم‌ارزش است. مخفی کردن خود به دو دسته پنهان‌سازی^۴ و نهان‌نگاری^۵ تقسیم می‌شود. در پنهان‌سازی، پیام مورد نظر غیرقابل رؤیت است اما در نهان‌نگاری، پیام هم می‌تواند قابل رؤیت و هم غیرقابل رؤیت باشد که این یک مزیت مهم تلقی می‌گردد [۱].

در نهان‌نگاری، اطلاعات با ارزش درون اطلاعاتی که فاقد ارزش هستند جاسازی می‌شوند و از این طریق امنیت آنها تضمین می‌گردد [۲]. اطلاعاتی که هدف، حفظ امنیت آن است را اطلاعات نهان‌نگار^۶، داده‌ی که اطلاعات نهان‌نگار درون آن جاسازی می‌شود، اطلاعات میزبان^۷ و به داده‌ی میزبان پس از جاسازی و انجام نهان‌نگاری، اطلاعات نهان‌نگاری^۸ می‌گویند [۳،۴]. داده یا اطلاعات می‌توانند به صورت متن، ویدئو، صوت و تصویر باشند [۵].

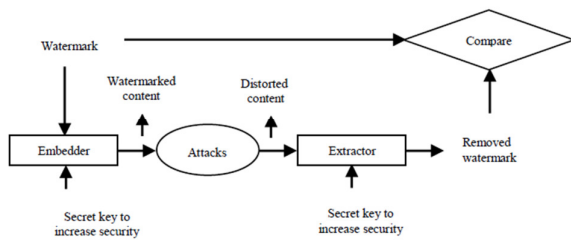
نهان‌نگاری دیجیتال^۹ به معنای قرار دادن اطلاعات نهان‌نگار در ساختار باینری داده میزبان است. در صورتی که تصویر به عنوان اطلاعات میزبان انتخاب شود، به آن نهان‌نگاری تصویر دیجیتال^{۱۰} گفته می‌شود [۱]. در شکل (۱) نمایی از جاسازی اطلاعات در نهان‌نگاری تصویر دیجیتال نمایش داده شده است.



شکل (۱): نمایی از جاسازی اطلاعات در نهان‌نگاری تصویر دیجیتال [۳، ۴، ۶]
Fig. (1): A schematic view of data embedding in digital image watermarking [3, 4, 6].

نهان‌نگاری تقسیم‌بندی‌های مختلفی دارد، برای مثال از لحاظ حوزه‌ی کاری به دو حوزه‌ی مکان^{۱۱} و تبدیل^{۱۲} تقسیم می‌شود. در حوزه‌ی مکان، اطلاعات نهان‌نگار به طور مستقیم در پیکسل‌های^{۱۳} تصویر میزبان جاسازی می‌گردد. مهم‌ترین روش نهان‌نگاری در این حوزه، کم‌اهمیت‌ترین بیت (LSB)^{۱۴} نام دارد. در روش LSB، دو یا سه بیت پرازش اطلاعات نهان‌نگار در دو یا سه بیت کم‌ارزش تصویر میزبان جاسازی می‌شود. در حوزه تبدیل، اطلاعات نهان‌نگار در شکل تبدیل

یافته‌ی تصویر میزبان، نهان‌نگاری می‌گردند. مهم‌ترین روش‌های این حوزه عبارتند از تبدیل موجک گسسته (DWT)^{۱۵}، تبدیل کسینوسی گسسته (DCT)^{۱۶} و تبدیل تجزیه مقدار منفرد (SVD)^{۱۷} [۱، ۲]. پس از دریافت تصویر نهان‌نگاری در مقصد، باید اطلاعات استخراج^{۱۸} شود، اما ممکن است در مسیر ارسال و پیش از رسیدن به مقصد، مورد حملات مختلفی از قبیل نویز نمک و فلفل^{۱۹}، فشرده‌گی^{۲۰}، برش^{۲۱} و غیره قرار گیرد و به اطلاعات نهان‌نگار آسیب وارد شود. حملات ذکر شده در حوزه مکانی می‌توانند به اطلاعات صدمه وارد کنند. لذا برای جلوگیری از این اتفاق به جای بهره بردن از روش‌های حوزه مکان از روش‌های حوزه تبدیل استفاده می‌گردد. در شکل (۲) نمای کلی از یک سیستم نهان‌نگاری قابل مشاهده است.



شکل (۲): نمای کلی از یک سیستم نهان‌نگاری [۷].

Fig. (2): Typical watermarking system framework [7]

چنانچه در هنگام استخراج اطلاعات نهان‌نگار به تصویر میزبان نیاز باشد به آن نهان‌نگار غیر کور^{۲۲} و چنانچه عمل استخراج اطلاعات بدون نیاز به تصویر میزبان صورت پذیرد به آن نهان‌نگاری کور^{۲۳} گفته می‌شود. در صورتی که از روش‌های حوزه مکان برای نهان‌نگاری اطلاعات در تصویر استفاده شود، یک راه‌حل مناسب جهت مقابله با حملات مکانی، داشتن بیش از یک نسخه از اطلاعات نهان‌نگار در تصویر میزبان است. بدین ترتیب در صورتی که یکی از نسخه‌ها مورد آسیب قرار گیرد می‌توان با استفاده از نسخه‌های دیگر، اطلاعات را بازسازی نمود. این راه‌حل در برابر حمله برش و نویز نمک و فلفل مقاوم نیست زیرا اطلاعات نهان‌نگار ممکن است به خوبی در کل تصویر میزبان تقسیم نشود و در نتیجه پس از اعمال حملات مذکور، نتوان به خوبی و به‌طور کامل اطلاعات را از روی نسخه‌ها استخراج نمود [۱۱].

یکی دیگر از روش‌های مطرح‌شده برای مقابله با حمله برش و نویز نمک و فلفل استفاده از جدول سودوکو است. در این روش، تصویر نهان‌نگار مطابق با یک کلید حل جدول سوکوی ۹ در ۹ چیدمان و در تصویر میزبان نهان‌نگاری می‌شود. بدین ترتیب می‌توان از تصویر نهان‌نگار، ۹ نسخه‌ی تقسیم شده مطابق با یک کلید حل جدول سودوکو در اختیار داشت و در هنگام استخراج از آنها استفاده نمود. از این طریق می‌توان مقاومت در برابر حمله برش را تا میزان ۹۴٪ و در برابر نویز نمک و فلفل تا میزان ۷۸٪ افزایش داد [۱۱، ۱۲].

در این مقاله یک روش نهان‌نگاری مناسب برای مقابله در برابر حمله برش و نویز نمک و فلفل با استفاده از دو جدول سودوکوی متفاوت با حل‌های مختلف پیشنهاد شده است. در این روش که بر اساس استفاده

Table (1): Comparing the resistant methods proposed in recent years

جدول (۱): مقایسه روش‌های مقاوم مطرح شده در برابر حمله برش در سال‌های اخیر

روش‌ها	بیشترین درصد برش حمایت‌شده	اندازه نهان نگار
کاکس و همکارانش (۱۹۹۶)	٪۷۵	متغیر
فنگ و همکارانش (۲۰۰۴)	٪۵۰-۶۰	۱ کیلوبایت در هر رنگ
راوات و رامان (۲۰۱۰)	٪۵۰	۴ کیلوبایت در هر رنگ
آگاروال و سینگلا (۲۰۱۱)	٪۷۵	۲۲ کیلوبایت در هر رنگ
احمد خلید و همکارانش (۲۰۱۳)	٪۹۴	۲۸ کیلوبایت در هر رنگ

۲-۲- نويز نمک و فلفل

نويز نمک و فلفل یکی دیگر از حملات حوزه‌ی مکانی به شمار می‌آید که پس از اعمال بر روی یک تصویر بر اساس درصد نويز اعمال شده، تعدادی از پیکسل‌های تصویر را به رنگ سفید و سیاه تبدیل می‌کند و باعث خراب شدن تصویر می‌گردد. راه‌حل پیشنهادشده در این مقاله میزان مقاومت نهان‌نگاری تصویر دیجیتال در برابر این نوع حمله را تا ٪۸۰ افزایش می‌دهد. به عبارت دیگر پس از تبدیل اطلاعات نهان‌نگار با استفاده از دو کلید حل جدول سودوکوی متفاوت و نهان‌نگاری آن در تصویر میزبان با استفاده از روش کم‌اهمیت‌ترین بیت که از روش‌های حوزه مکان است، در صورت اعمال نويز نمک و فلفل تا میزان ٪۸۰ می‌توان اطلاعات نهان‌نگار را استخراج کرد و حتی در صورت اعمال نويز نمک و فلفل بیش از ٪۸۰ می‌توان بخش قابل توجهی از تصویر نهان‌نگار را به خوبی بازیابی نمود.

روش‌های پیشنهاد شده برای مقابله با این نويز قادر به بازیابی تصویر نهان‌نگار در برابر نويز با میزان ٪۷۰ بودند [۱۰]. صناعی و نقش با ارائه‌ی روشی جدید توانستند میزان مقاومت نهان‌نگاری در برابر نويز نمک و فلفل را تا میزان ٪۷۵ افزایش دهند. خالید و همکارانش توانستند این مقاومت را تا میزان ٪۷۸ بالا ببرند اما در این روش نمی‌توان تصویر نهان‌نگار را به‌طور کامل بازیابی نمود [۱۰، ۱۲].

۲-۳- سودوکو

یک جدول سودوکو شامل سطر و ستون‌های است که در محل تلاقی باعث ایجاد خانه‌هایی می‌شود که به آن سلول^{۲۴} می‌گویند و صفحه جدول را به N ناحیه که هر کدام دارای N سلول است، تقسیم می‌کنند. درون سلول‌های این جدول مجموعه‌ای از N عدد که سمبل^{۲۵} نام دارند، قرار می‌گیرد. سودوکوی کلاسیک، سودوکوی است که در آن اعداد ۱ تا ۹ در سلول‌های جدول قرار می‌گیرد. در این نوع از سودوکو، جدول به ۹ ناحیه^{۲۶} که هر کدام دارای ۹ سلول است تقسیم شده و در هر سلول عددی بین ۱ تا ۹ به گونه‌ی قرار می‌گیرد که در هر سطر، ستون و ناحیه عدد تکراری وجود نداشته باشد. شکل (۳) نمونه‌ای از یک کلید حل جدول سودوکوی کلاسیک را نمایش می‌دهد.

از دو جدول سودوکوی کلاسیک ۹ در ۹ است، می‌توان تعداد نسخه‌های بیشتری از تصویر نهان‌نگار نسبت به استفاده از یک جدول سودوکو در اختیار داشت. تعداد تصاویر نهان‌نگار در این روش ۸۱ تصویر است که باعث می‌شود مقاومت نهان‌نگاری در برابر حمله برش تا میزان ٪۹۸/۸ و در برابر نويز نمک و فلفل تا ٪۸۰ افزایش یابد. از این طریق میزان مقاومت نهان‌نگاری تصویر دیجیتال در حوزه مکان، در برابر حمله‌ی برش و نويز نمک و فلفل نسبت به روش‌های مطرح شده افزایش قابل توجهی خواهد داشت.

بخش‌های ارائه‌شده در این مقاله شامل بخش ۲ تعریف مفاهیم اولیه مورد نیاز، بخش ۳ طرح مسئله، بخش ۴ راه‌حل پیشنهادی و بخش ۵ نتیجه‌گیری است.

۲- تعریف مفاهیم اولیه مورد نیاز

۲-۱- حمله برش

یکی از انواع حملات حوزه مکان، حمله برش است. در این حمله بخشی از تصویر نهان‌نگاری توسط فرد مهاجم مورد آسیب واقع می‌شود که در اثر آن مقدار پیکسل‌های آن قسمت از تصویر صفر می‌گردد. بدین ترتیب ممکن است اطلاعات نهان‌نگار جاسازی‌شده آسیب ببیند.

کاکس و همکارانش (۱۹۹۶) یک سیستم نهان‌نگاری در حوزه‌ی تبدیل پیشنهاد دادند که در آن یک سیگنال نهان‌نگار را در همهی تصویر میزبان پخش می‌کرد. آنها در این روش برای بازسازی تصویر نهان‌نگار به تصویر میزبان نیاز داشتند [۱۲]. فنگ و همکارانش (۲۰۰۴) یک روش نهان‌نگاری کور پیشنهاد دادند که در برابر حمله برش ۶۰ درصد مقاومت داشت. این روش قابلیت نهان‌نگاری 1kB از تصویر نهان‌نگار را دارا بود ولی در برابر حمله برش تصادفی مقاوم نبود [۱۳]. آگاروال و سینگلا (۲۰۱۱) با ارائه‌ی یک روش نهان‌نگاری جدید، حجم بیشتری از اطلاعات نهان‌نگار را در تصویر میزبان جاسازی کردند اما نسخه‌های محدود و مکان‌های نامناسب موجب شد حمله برش تصادفی، یک تصویر بریده‌شده‌ی بدون اطلاعات نهان‌نگار را حاصل کند. در این روش 4kB از حجم اطلاعات نهان‌نگار در تصویر میزبان نهان‌نگاری و در برابر ۷۵ درصد از حمله‌ی برش مقاوم و در هنگام استخراج به تصویر میزبان نیز احتیاج بود [۱۴]. راوات و رامان (۲۰۱۰) روش نهان‌نگاری ارائه کردند که از قابلیت جاسازی تصویر نهان‌نگار با حجمی در حدود 22kB برخوردار بود اما در برابر حمله برش تصادفی به میزان بیش از ۵۰ درصد مقاوم نبود. این روش در هنگام استخراج به تصویر میزبان نیاز داشت [۱۵]. خالید و همکارانش (۲۰۱۳) روشی مطرح کردند که در آن با استفاده از یک کلید حل جدول سودوکو توانستند حجم 28kB از یک تصویر نهان‌نگار را در برابر حمله برش تصادفی به میزان ۹۴ درصد مقاوم سازند [۱۱].

بنابراین پژوهش‌های انجام شده تاکنون منتج به مقاومت‌سازی نهان‌نگاری تصویر دیجیتال در برابر حمله برش تا میزان ۹۴ درصد شده است.

۲-۵- معرفی معیارهای ارزیابی

برای ارزیابی عملکرد یک روش نهان‌نگاری، معیارهای مختلفی وجود دارد. این معیارها به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند. دسته‌ی اول معیارهای هستند که بین تصویر میزبان و تصویر نهان‌نگاری مطرح می‌گردند، مانند نسبت دامنه سیگنال به نویز و میانگین مربعات خطا. دسته‌ی دوم به بررسی و ارزیابی بین اطلاعات نهان‌نگار و اطلاعات استخراج شده می‌پردازند، مانند نرخ خطای بی‌ی.

میانگین مربعات خطا (MSE)^{۲۷}

میانگین مربعات خطا بین تصویر اصلی و تصویر نهان‌نگاری در رابطه‌ی (۱) نمایش داده شده است.

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

در رابطه‌ی بالا I تصویر میزبان، I_W تصویر نهان‌نگاری، M و N نیز ابعاد تصاویر هستند.

نسبت دامنه سیگنال به نویز (PSNR)^{۲۸}

نسبت دامنه سیگنال به نویز بین تصویر میزبان و تصویر نهان‌نگاری شده با استفاده از رابطه‌ی (۲) به دست می‌آید.

$$PSNR(I, I_W) = 10 \times \log_{10} \frac{\left(\max_{i,j} \frac{I}{I} \right)^2}{MSE} \quad (2)$$

در رابطه‌ی (۲) $\max_{i,j}$ بیش‌ترین مقدار ممکن برای پیکسل تصویر میزبان است.

نرخ خطای بی‌ی (BER)^{۲۹}

نرخ خطای بی‌ی بین اطلاعات نهان‌نگار و اطلاعات استخراج شده با استفاده از رابطه‌ی (۳) محاسبه می‌گردد.

$$BER = \frac{DB}{NB} \quad (3)$$

در رابطه‌ی بالا DB تعداد بیت‌های نادرست و NB تعداد کل بیت‌های اطلاعات نهان‌نگار است.

۳- طرح مسئله

نهان‌نگاری با استفاده از روش‌های حوزه مکان دارای مزایایی از جمله سادگی، سرعت بالا و ظرفیت زیاد است اما مهم‌ترین مشکل آن مقاوم نبودن در برابر حملاتی از قبیل برش و نویز نمک و فلفل است. در شکل‌های زیر یک تصویر فقط با استفاده از روش کم‌اهمیت‌ترین بیت و بدون به‌کارگیری هیچ الگوی خاصی در تصویر دیگر جاسازی شده، سپس بر روی تصویر نهان‌نگاری حمله برش (در شکل (۴)) و نویز نمک و فلفل (در شکل (۵)) با درصد کم اعمال گشته و در نهایت تصویر نهان‌نگار استخراج شده است.

region	cell	symbol
8	1	2
9	4	3
6	7	5
1	5	4
3	6	9
2	8	7
5	2	1
4	3	8
7	9	6

شکل (۳): مثالی از یک حل جدول سودوکو

Fig. (3): An example Sudoku solution

مهم‌ترین مزیت جدول سودوکو آن است که هر عدد ۹ مرتبه به‌طور غیریک‌نواخت در کل جدول تکرار شده است. وجود ۹ تکرار از هر عدد آن هم به‌طور غیریک‌نواخت و بر اساس کلید حل جدول سودوکو مهم‌ترین دلیل استفاده از این روش برای نهان‌نگاری است. برای حل جدول سودوکوی کلاسیک ۹ در ۹ کل عددهای ممکن حدوداً 6.0671×10^{21} است [۱۱].

۲-۴- استفاده از سودوکو در تصویر

یک روش مناسب برای در اختیار داشتن چندین نسخه از تصویر نهان‌نگار جهت مقابله با حملات مکانی نظیر برش و نویز نمک و فلفل، استفاده از جدول سودوکو است. در این روش ابتدا تصویر نهان‌نگار مطابق آنچه در شکل (۴) نمایش داده شده به ۹ قسمت تقسیم می‌شود.

1	2	3
4	5	6
7	8	9

شکل (۴): نحوه تقسیم‌بندی تصویر نهان‌نگار جهت نهان‌نگاری توسط سودوکو

Fig. (4): Dividing the watermark image to watermark it by a Sudoku

سپس قطعات ایجاد شده‌ی ناشی از تصویر نهان‌نگار تقسیم‌بندی شده، مطابق با یک کلید حل جدول سودوکو کلاسیک چیدمان می‌شود. در شکل (۵) تصویر بابون چیدمان شده بر اساس کلید حل جدول سودوکوی شکل (۳) قابل مشاهده است.

از آنجا که تصویر بابون در شکل (۵)، در کل تصویر ۹ مرتبه تکرار می‌شود در صورتی‌که بر روی آن حمله‌ی برش یا نویز نمک و فلفل اعمال شود، می‌توان از قسمت‌های دیگر برای بازسازی تصویر استفاده کرد [۲۰-۱۶].



شکل (۵): تصویر بابون سودوکو شده

Fig. (5): The baboon image after applying the Sudoku

در شکل (۹) فلوچارت کلی روش استفاده شده در این مقاله جهت سودوکو شدن تصویر نهان نگار با دو کلید حل جدول سودوکو مختلف نشان داده شده است. در روش پیشنهادی ایده‌ی جدیدی برای بالا بردن مقاومت روش‌های نهان‌نگاری در حوزه‌ی مکان مطرح می‌شود. با توجه به کارآمد بودن استفاده از جدول سودوکو در بالا بردن مقاومت در مقالات گذشته، تلاش شده از همین ایده اما در شکلی دیگر بهره برده شود. استفاده از سودوکو در نهان‌نگاری به دو دلیل حائز اهمیت است. نخست آن‌که تعداد نسخه‌های جاسازی شده از تصویر نهان‌نگار در تصویر میزبان، ۹ نسخه خواهد بود و دوم آن‌که این نسخه‌ها مطابق با یک الگوی از پیش تعیین شده و در یک ساختار رمزنگاری شده در کل تصویر میزبان پخش می‌گردند. لذا می‌توان بازسازی بهتری پس از اعمال حملات مکانی از اطلاعات نهان‌نگار انجام داد. در این راستا سعی شده الگویی مطرح گردد که تعداد نسخه‌های و قطعات تصویر نهان‌نگار را نسبت به قبل افزایش دهد، زیرا با در دست داشتن تعداد بیشتر از نسخه‌های تصویر نهان‌نگار، می‌توان در برابر حملات با درصد‌های بالاتر، مقاومت را بالا برد و مهم‌تر این‌که ساختار از پیش رمزنگاری شده‌ی ترتیب قرارگیری قطعات، مطابق با یک کد خاص حفظ گردد. این ترتیب در هنگام استخراج و در بازسازی هرچه بهتر اطلاعات کمک به سزایی خواهد کرد.

۴-۱- سودوکوی مرحله‌ی اول

در این مرحله ابتدا اندازه سطر و ستون تصویر بایون (تصویر نهان‌نگار) مطابق با روابط (۴) و (۵) محاسبه می‌گردد.

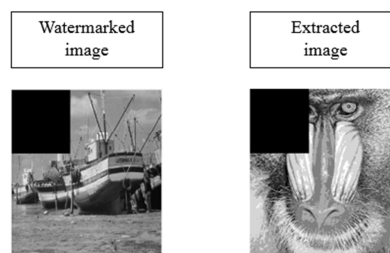
$$RS_{row} = \frac{m_c}{m_w \times \sqrt{N}} \quad (4)$$

$$RS_{column} = \frac{n_c}{m_w \times \sqrt{N}} \quad (5)$$

در روابط بالا m_c و n_c به ترتیب سطر و ستون تصویر میزبان، m_w و n_w نیز سطر و ستون تصویر نهان‌نگار و N تعداد نواحی می‌باشند. سپس اندازه تصویر نهان‌نگار بر اساس اندازه‌های محاسبه شده تغییر پیدا می‌کند. رابطه‌ی (۶) نحوه تغییر اندازه تصویر نهان‌نگار بر اساس مقادیر جدید محاسبه شده در روابط (۴) و (۵) را نمایش می‌دهد.

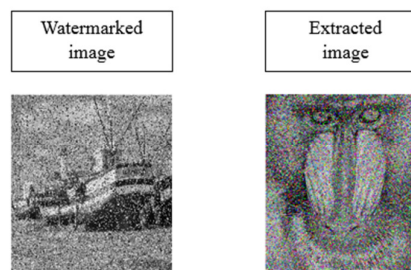
$$W_t = \text{resize}(W_{org}, RS_{row}, RS_{column}) \quad (6)$$

در رابطه‌ی (۶)، W_{org} تصویر نهان‌نگار با اندازه‌های اولیه و W_t تصویر نهان‌نگار با اندازه‌های جدید است. سپس تصویر نهان‌نگار تغییر اندازه یافته، مانند شکل (۴)، به ۹ قسمت مجزا تقسیم می‌شود. در این مرحله هر قسمت به طور جداگانه مجدداً به ۹ قسمت جدید تقسیم شده و توسط یک کلید حل جدول سودوکو، درون خودش چیدمان می‌شود. سپس این ۹ قسمت در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند. در این مقاله برای این مرحله، از جدول سودوکوی نمایش داده شده در شکل (۳) استفاده شده است. شکل (۱۰) تصویر بایون پس از اولین سودوکو را نشان می‌دهد.



شکل (۶): اعمال حمله برش ۱۵/۲۶٪ بر روی تصویر نهان‌نگاری در نهان‌نگاری با استفاده از روش کم‌اهمیت‌ترین بیت

Fig. (6): 15.26% cropping attack on the watermarked image using the Least Significant Bits method



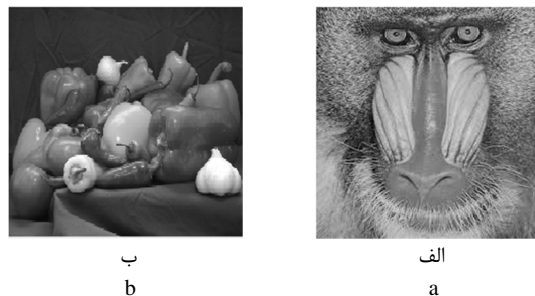
شکل (۷): اعمال نویز نمک و فلفل ۲۰٪ بر روی تصویر نهان‌نگاری در نهان‌نگاری با استفاده از روش کم‌اهمیت‌ترین بیت

Fig. (7): 20% salt & pepper noise on the watermarked image using the Least Significant Bits method

همان‌طور که در شکل نیز قابل مشاهده است، اعمال حمله برش و نویز نمک و فلفل حتی با درصد‌های ناچیز بر روی تصویر نهان‌نگاری در نهان‌نگاری با روش‌های حوزه‌ی مکان به اطلاعات نهان‌نگار آسیب وارد می‌کند. لذا در هنگام استفاده از روش‌های نهان‌نگاری مکانی باید الگوهای خاصی تعبیه شده که در صورت اعمال حمله برش یا نویز نمک و فلفل بر روی تصاویر نهان‌نگاری با درصد‌های بالا، آسیبی به اطلاعات نهان‌نگار وارد نگردد.

۴- راه‌حل پیشنهادی

در این مقاله از تصاویر استاندارد نرم‌افزار متلب به‌عنوان تصویر نهان‌نگار و تصویر میزبان استفاده گردیده است. تصویر بایون به‌عنوان تصویر نهان‌نگار و تصویر فلفل به‌عنوان تصویر میزبان انتخاب شده است. در شکل (۸) این دو تصویر نمایش داده شده‌اند.



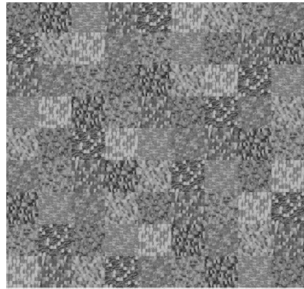
شکل (۸): الف) تصویر بایون (تصویر نهان‌نگار)، ب) تصویر فلفل (تصویر میزبان)
Fig. (8): a) Baboon Picture (watermark image), b) Pepper picture (host image)

1	4	8	6	2	5	7	3	9
2	7	5	9	3	8	1	6	4
6	9	3	1	4	7	5	2	8
8	5	4	3	6	1	2	9	7
7	1	2	5	8	9	6	4	3
9	3	6	4	7	2	8	1	5
4	8	9	7	1	6	3	5	2
3	2	1	8	5	4	9	7	6
5	6	7	2	9	3	4	8	1

شکل (۱۱): حل جدول سودوکوی مورد استفاده در دومین مرحله از آماده‌سازی تصویر نهان نگار

Fig. (11): The Sudoku solution that was used in the second step of watermark image preparation

تصویر بابون (نهان‌نگار) پس از اعمال دومین سودوکو در شکل (۱۲) نمایش داده شده است.

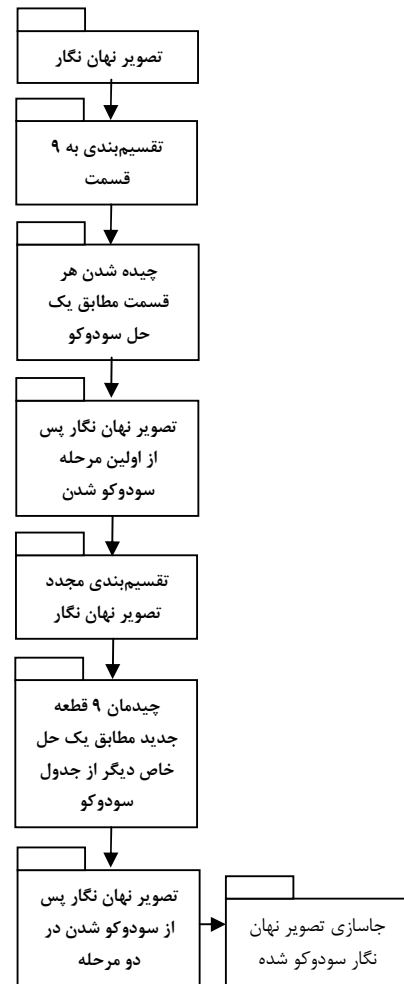


شکل (۱۲): تصویر بابون پس از اعمال دومین مرحله از سودوکو
Fig. (12): The baboon image after applying the second-step Sudoku

تصویر نمایش داده شده در شکل (۱۲) تصویر بابونی است که در دو مرحله توسط دو کلید حل جدول سودوکو با کدهای متفاوت در کنار یکدیگر چیده شده است. در این تصویر ۶۵۶۱ قطعه از تصویر بابون اصلی وجود دارد که بر اساس کدهای مشخص در کنار هم چیده شده و قابل بازیابی هستند. در این حالت می‌توان تصویر بابون را به شیوه‌های مکانی در تصویر دیگر نهان‌نگاری کرد و تا حد زیادی مطمئن بود که امنیت اطلاعات در برابر حملات مکانی محفوظ خواهد ماند، زیرا این اطمینان وجود دارد که اگر برای مثال حمله‌ی برشی یا نویز نمک و فلفل بر روی تصویر نهان‌نگاری اعمال شود و به بخشی از اطلاعات نهان‌نگار آسیب وارد سازد، می‌توان از دیگر نواحی برای بازسازی اطلاعات استفاده کرد. در شکل (۱۲)، ۸۱ تصویر از بابون توسط دو جدول سودوکو قرار داده شده است.

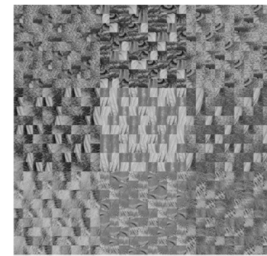
۴-۳- جاسازی تصویر نهان‌نگار با استفاده از روش کم‌اهمیت‌ترین بیت

معروف‌ترین روش نهان‌نگاری در حوزه مکان روش کم‌اهمیت‌ترین بیت (LSB) است. در این روش دو یا سه بیت پر ارزش تصویر نهان‌نگار در دو یا سه بیت کم‌ارزش تصویر میزبان جاسازی می‌شوند. در شکل (۱۳) نحوه‌ی جاسازی اطلاعات نهان‌نگار در تصویر میزبان با این روش نمایش داده شده است.



شکل (۹): فلوجارت سودوکو شدن تصویر نهان نگار در دو مرحله با دو حل جدول سودوکو متفاوت

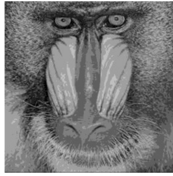
Fig. (9): the flowchart of applying Sudoku on the watermark image in two steps with two different Sudoku solutions



شکل (۱۰): تصویر بابون پس از اعمال اولین مرحله از سودوکو
Fig. (10): The baboon picture after applying the first Sudoku

۴-۲- سودوکوی مرحله‌ی دوم

تصویر نهان‌نگار به دست آمده پس از اعمال اولین سودوکو در شکل (۱۰) مانند قبل ابتدا به ۹ قسمت مجزا همچون شکل (۴) تقسیم شده، سپس بر اساس یک کلید حل جدول سودوکوی دیگر به شکل یک جدول چیدمان می‌شوند. کلید حل جدول سودوکویی که در این مرحله مورد استفاده قرار گرفته در شکل (۱۱) قابل مشاهده است.



شکل (۱۵): تصویر نهان‌نگار استخراج شده پیش از اعمال حمله برش بر روی تصویر نهان‌نگاری

Fig. (15): The extracted watermark image before cropping attack on the watermarked image

۴-۴- استخراج اطلاعات نهان نگار

پس از دریافت تصویر نهان‌نگاری در مقصد باید اطلاعات نهان‌نگار استخراج گردد. به این منظور ابتدا باید سه بیت کم‌ارزش تصویر نهان‌نگاری از سایر بیت‌ها تفکیک گردد. سه بیت کم‌ارزش تصویر نهان‌نگاری در واقع سه بیت پرارزش اطلاعات نهان‌نگار هستند که پس از ارزش‌گذاری، باید مطابق کلیدهای حل دو جدول سودوکو که در مرحله‌ی جاسازی مورد استفاده قرار گرفتند، اطلاعات نهان‌نگار استخراج گردد. در این مرحله باید ابتدا بر اساس کلید حل جدول سودوکوی دوم اطلاعات را استخراج نمود و سپس با توجه به کلید حل جدول سودوکوی مرحله‌ی اول جاسازی، نسخه‌های جاسازی‌شده اطلاعات نهان‌نگار را استخراج کرد. در صورتی‌که بر روی تصویر نهان‌نگاری حمله‌ی اعمال نگردد، بدیهی است که تمام نسخه‌ها به‌طور کامل بازیابی می‌شوند، اما در صورت اعمال حمله باید نسخه‌های مشابه پیکسل به پیکسل با یکدیگر مقایسه گردند و پیکسل‌های سالم انتخاب و جایگزین گردد. بدین ترتیب می‌توان بخش قابل‌توجهی از اطلاعات نهان‌نگار را حتی در صورت اعمال حملات با درصدی بالا به‌طور کامل استخراج نمود.

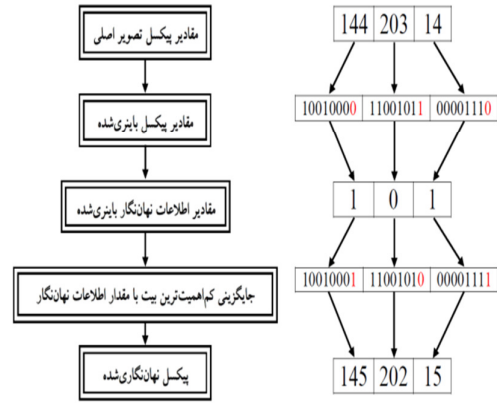
۴-۵- اعمال حمله‌ی برش بر روی تصویر نهان‌نگاری

در این مرحله بر روی تصویر نهان‌نگاری، حمله برش با درصدهای مختلف اعمال شده است. در شکل (۱۶) می‌توان تعدادی از تصاویر نهان‌نگاری (فلفل) که مورد حمله‌ی برش با درصدهای مختلف قرار گرفته است را مشاهده نمود.

پس از اعمال حمله برش با درصدهای مختلف تا بالاترین درصد مورد بررسی در این مقاله، تصویر استخراج شده همان تصویر مشاهده شده در شکل (۱۵) است. به عبارت دیگر حتی در برابر حمله برش با درصد ۹۸/۸٪ نیز تصویر نهان‌نگار استخراج شده، همان تصویر نشان داده شده در شکل (۱۵) است.

۴-۶- اعمال نویز نمک و فلفل بر روی تصویر نهان‌نگاری

در این مرحله بر روی تصویر نهان‌نگاری، نویز نمک و فلفل با درصدهای مختلف اعمال شده است. در جدول (۲) می‌توان تعدادی از تصاویر نهان‌نگاری (فلفل) که مورد حمله توسط نویز نمک و فلفل با درصدهای مختلف قرار گرفته به همراه تصویر نهان‌نگار استخراج شده پس از اعمال حمله در روش نهان‌نگاری پیشنهادی را مشاهده کرد. درصدهای نویز نمک و فلفل اعمالی بر روی تصویر نهان‌نگاری در جدول (۲) تنها بخشی از درصدهای مورد بررسی در این مقاله است که برای نمونه در جدول (۲) آورده شده است.

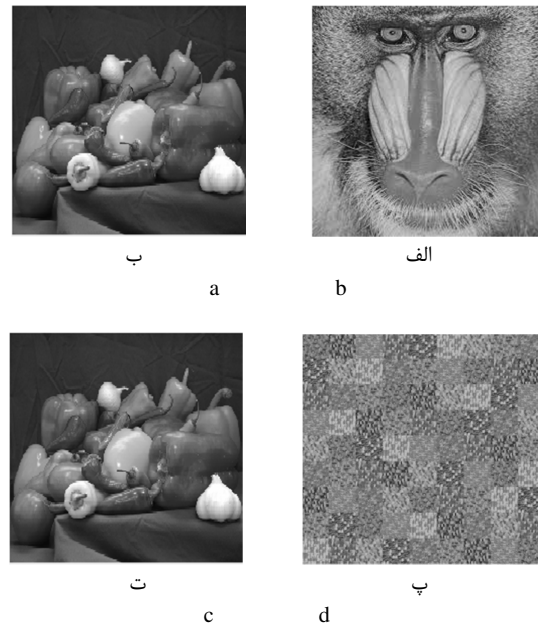


شکل (۱۳): نحوه‌ی جاسازی یک بیت پرارزش تصویر نهان‌نگار در تصویر

میزبان با استفاده از روش LSB

Fig. (13): Embedding one valuable bit of the watermark image in the host image using the LSB method

در این قسمت تصویر بایون ایجاد شده در شکل (۱۲) با استفاده از این روش در تصویر فلفل نهان‌نگاری شده است. در شکل (۱۴) می‌توان نتایج حاصل از این نهان‌نگاری را مشاهده نمود.



شکل (۱۴): (الف) تصویر بایون (تصویر نهان‌نگار)، (ب) تصویر فلفل (تصویر

میزبان)، (پ) تصویر بایون سودوکو شده در دو مرحله، (ت) تصویر نهان‌نگاری

Fig. (14): a) The baboon (watermark) picture, b) the pepper (host) picture, c) the two-step Sudoku applied on the baboon picture, d) the watermarked image

در روش LSB استفاده شده در این مقاله سه بیت پرارزش تصویر قسمت (پ) در شکل (۱۴)، در سه بیت کم‌ارزش تصویر فلفل جاسازی شده است. در صورتی‌که تصویر نهان‌نگاری مورد حمله واقع نشود، در مقصد می‌توان تصویر نهان‌نگار را استخراج نمود. در شکل (۱۵) تصویر نهان‌نگار استخراج شده پیش از اعمال حمله برش و نویز فلفل و نمک قابل مشاهده است.

Table (2): Number of watermarked images after applying salt and pepper noise and watermark image extracted from them in watermarking method proposed

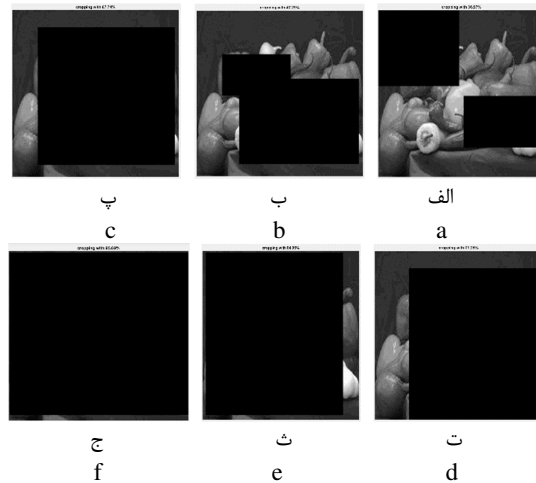
جدول (۲): تعدادی از تصاویر نهان‌نگاری پس از اعمال نویز نمک و فلفل و تصویر نهان‌نگار استخراج شده از آنها در روش نهان‌نگاری پیشنهادی

درصد نویز نمک و فلفل	تصویر نهان‌نگاری	تصویر استخراج‌شده
٪۱۰		
٪۵۰		
٪۷۵		
٪۸۰		
٪۹۵		

Table (3): Comparing the PSNR of the results
جدول (۳): مقایسه نتایج حاصل از لحاظ PSNR

تصویر اصلی	تصویر نهان‌نگار	PSNR
Lena	Pepper	38.37
Pepper	Baboon	39.93
Boat	Lena	38.74
Baboon	Boat	39.60

میزان BER بین تصویر نهان‌نگار و تصویر استخراج شده با استفاده از روش نهان‌نگاری کم‌اهمیت‌ترین بیت در درصدهای مختلف حمله برش محاسبه و نتایج حاصل شده از آن در شکل (۱۷) مشاهده می‌گردد. تا زمان اعمال برش با درصد ۹۸/۸٪ تصویر نهان‌نگار به خوبی بازیابی شده



شکل (۱۶): حمله برش با درصدهای متفاوت

(الف) ۳۶.۹۷٪، (ب) ۴۷.۲۹٪، (پ) ۶۷.۷۴٪، (ت) ۷۱.۲۵٪،

(ث) ۸۴.۰۵٪، (ج) ۹۵.۶۹٪

Fig. (16): Cropping attack in different percentages:

a) 36.97%, b) 47.29%, c) 67.74%, d) 71.25%, e) 84.05%, f) 95.69%

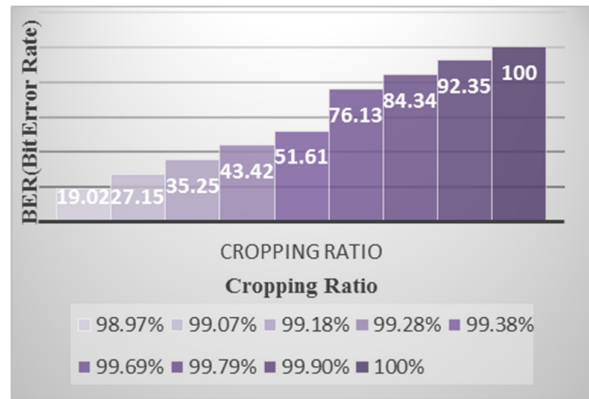
در روش پیشنهادی در این مقاله، پس از استخراج تصویر نهان‌نگاری که توسط دو کلید حل جدول سودوکو رمزگذاری شده است مطابق شکل (۱۴)، قسمت (پ)، از هر قطعه تصویر بابون، ۸۱ نسخه وجود خواهد داشت که پس از اعمال نویز نمک و فلفل و در هنگام استخراج با مقایسه‌ی پیکسل به پیکسل هر قطعه در مقایسه با ۸۰ قطعه‌ی دیگر، پیکسل سالم که نویز نمک یا فلفل آن را تخریب نکرده، جایگزین می‌گردد. با ادامه‌ی این روند برای تمام قطعات تصویر بابون، می‌توان درصد قابل‌توجهی از تصویر نهان‌نگار را حتی در صورت اعمال نویز نمک و فلفل با درصدهای خیلی بالا نیز استخراج نمود. همان طور که در جدول (۲) نیز قابل‌مشاهده است تا نویز ۵۰ درصد، تصویر بابون نهان‌نگاری به طور کامل قابل استخراج است و حتی در صورتی که نویز ۸۰ درصد اعمال گردد، بخش قابل‌توجهی از اطلاعات نهان‌نگار با روش پیشنهادی قابل بازسازی خواهد بود.

۴-۷- نتایج شبیه‌سازی

از آنجا که با استفاده از روش سودوکوی دو مرحله‌ای، تعداد زیادی از تصویر نهان‌نگار در تصویر میزبان جاسازی شده است، مقاومت اطلاعات نهان‌نگار در برابر حمله برش تا میزان ۹۸/۸٪ افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر در صورت اعمال حمله برش تا میزان ۹۸/۸٪ می‌توان تصویر نهان‌نگار را بدون مشکل بازیابی نمود که نسبت به روش‌های مطرح‌شده تاکنون یک پیشرفت قابل توجه است. علاوه بر دو تصویر بابون و فلفل با استفاده از تصاویر استاندارد دیگری از جمله لنا و قایق نیز نهان‌نگاری صورت گرفته که نتایج حاصل شده از نظر PSNR در جدول (۳) نمایش داده شده است.

همچنین طرح پیشنهادی در مقاله یک راه مناسب برای مقابله با نویز نمک و فلفل نیز هست. با استفاده از جدول سودوکوی دو مرحله‌ای می‌توان میزان مقاومت نهان‌نگاری تصویر دیجیتال با استفاده از روش کم‌اهمیت‌ترین بیت را تا میزان ۸۰٪ افزایش داد. در جدول (۴) نتایج به‌دست‌آمده از لحاظ MSE، PSNR و BER در درصدهای مختلف با یکدیگر مقایسه شده است. همان‌طور که در جدول (۴) نیز مشاهده می‌گردد با افزایش درصد نویز نمک و فلفل، میزان PSNR بین تصویر میزبان و تصویر نهان‌نگاری کاهش می‌یابد که این نشان‌دهنده اثربخشی نویز بر روی تصویر نهان‌نگاری را نمایش می‌دهد. علاوه بر این، با افزایش درصد نویز، MSE نیز بین تصویر نهان‌نگار و تصویر استخراج شده افزایش می‌یابد. نکته‌ی مهم دیگر در جدول (۴) میزان BER است. تقریباً تا نویز ۶۰٪، BER صفر است و تصویر استخراج شده بدون خطا قابل بازیابی است، اما هرچه درصد نویز بالاتر می‌رود تصویر استخراج شده با خطا قابل بازیابی می‌شود اما این خطا تا میزان نویز ۸۰٪ بسیار کم است به نحوی که تصویر نهان‌نگار با کیفیت مطلوب استخراج می‌گردد. در درصد نویزهای بالاتر از ۸۰٪ باز هم می‌توان تصویر نهان‌نگار را استخراج کرد، ولی کیفیت تصویر استخراج شده کاهش می‌یابد. در شکل (۱۸) نمودار BER تصویر استخراج شده در درصدهای مختلف نویز نمک و فلفل اعمالی بر روی تصویر نهان‌نگاری با استفاده از جدول سودوکوی دو مرحله‌ای قابل مشاهده است.

و میزان BER آن صفر بوده است. لذا مقادیر BER محاسبه شده در شکل (۱۸) مقادیری است که پس از اعمال برش بیش از ۹۸/۸٪ به دست آمده است. میزان BER بین تصویر استخراج شده و تصویر نهان‌نگار تا هنگامی که حمله برش ۹۸/۸٪ بر روی تصویر نهان‌نگاری اعمال شود، صفر است و این بدان معنی است که تصویر نهان‌نگار به خوبی قابل استخراج است و خطایی در آن حتی پس از اعمال حمله برش با درصد زیاد شده نیست. اما هنگامی که برش با درصدهای بیشتر اعمال گردد، میزان BER متناسب با افزایش درصد برش زیاد می‌گردد تا زمانی که درصد برش به ۱۰۰٪ برسد که در این صورت BER نیز ۱۰۰٪ خواهد بود و این به معنی از بین رفتن تمام اطلاعات خواهد بود.



شکل (۱۷): نمودار میزان BER محاسبه شده در درصدهای متفاوت از اعمال حمله برش

Fig. (17): The calculated BER diagram in different cropping percents

Table (4): Comparing the PSNR, BER and MSE against salt and pepper noise attack with different percents
جدول (۴): مقایسه نتایج حاصل از لحاظ PSNR، BER و MSE در برابر حمله نویز نمک و فلفل با درصدهای مختلف

درصد نویز نمک و فلفل اعمال شده	PSNR پیش از اعمال نویز نمک و فلفل	PSNR پس از اعمال نویز نمک و فلفل	MSE پیش از اعمال نویز نمک و فلفل	MSE پس از اعمال نویز نمک و فلفل	BER
10%	40.4533 dB	14.9980 dB	9.0089×10^{-5}	0.0316	0
20%	40.4533 dB	12.0199 dB	9.0089×10^{-5}	0.0628	0
30%	40.4533 dB	10.2506 dB	9.0089×10^{-5}	0.0944	0
40%	40.4533 dB	9.0154 dB	9.0089×10^{-5}	0.1254	0
50%	40.4533 dB	8.0455 dB	9.0089×10^{-5}	0.1568	0
60%	40.4533 dB	7.2521 dB	9.0089×10^{-5}	0.1883	0.0091
70%	40.4533 dB	6.5790 dB	9.0089×10^{-5}	0.2198	0.0410
75%	40.4533 dB	6.2879 dB	9.0089×10^{-5}	0.2351	0.0748
80%	40.4533 dB	5.9996 dB	9.0089×10^{-5}	0.2512	0.1332
85%	40.4533 dB	5.7445 dB	9.0089×10^{-5}	0.2664	0.2232
90%	40.4533 dB	5.4953 dB	9.0089×10^{-5}	0.2821	0.3857
95%	40.4533 dB	5.2612 dB	9.0089×10^{-5}	0.2978	0.6330

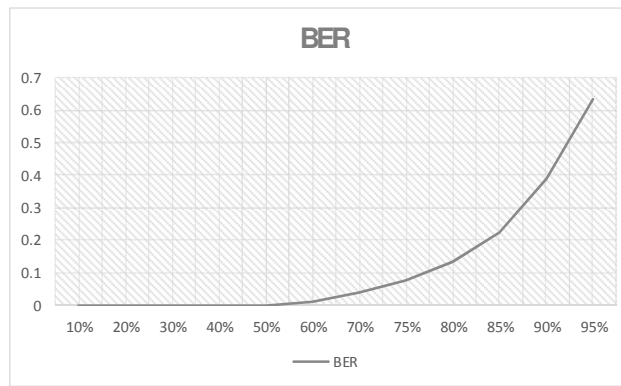


Fig. (18): The calculated BER diagram in different salt & pepper noise percents.
 شکل (۱۸): نمودار میزان BER محاسبه شده در درصد‌های متفاوت از اعمال حمله نمک و فلفل

۵- نتیجه‌گیری

در این روش برای اولین بار ۸۱ تکرار از تصویر نهان‌نگار در تصویر میزبان نهان‌نگاری می‌شود بدین ترتیب علاوه بر حفظ مزایای روش‌های نهان‌نگاری در حوزه مکان می‌توان مقاومت نهان‌نگاری در برابر حملات یاد شده را افزایش داد. علاوه بر آن روش مورد استفاده در این مقاله یک روش کور است و در هنگام استخراج به تصویر میزبان نیازی ندارد که این نیز مزیت دیگری در برابر روش‌های مطرح شده تاکنون است. نکته‌ی مهم دیگر سادگی روش مورد استفاده در این مقاله است که مطابق با دو کلید حل جدول سودکو و روش کم‌اهمیت‌ترین بیت انجام می‌گیرد. در جداول (۵) و (۶) بین روش پیشنهادی با سایر روش‌های مطرح شده به ترتیب از لحاظ مقاومت در برابر برش و نویز نمک و فلفل مقایسه انجام پذیرفته که قابل مشاهده است.

نهان‌نگاری با روش‌های حوزه مکان اگرچه دارای مزایایی از جمله سرعت، ظرفیت بالا و آسان بودن است اما در برابر حملات حوزه‌ی مکان نظیر نویز فلفل و نمک و برش مقاوم نیستند. در این مقاله یک روش مناسب برای نهان‌نگاری مقاوم تصویر دیجیتال در برابر حمله برش و نویز نمک و فلفل مطرح شده که بر اساس جدول سودوکوی کلاسیک است. در این روش از دو جدول سودوکوی مختلف با حل‌های متفاوت استفاده شده است. افزایش تعداد نسخه‌های تصویر نهان‌نگار جاسازی شده در تصویر میزبان و همچنین قرارگیری آنها مطابق با یک کلید مشخص، سبب افزایش مقاومت نهان‌نگاری می‌گردد. با بهره بردن از این روش می‌توان مقاومت نهان‌نگاری با روش کم‌اهمیت‌ترین بیت (LSB) از روش‌های حوزه مکان را در برابر حمله برش با درصد ۹۸/۸٪ و در برابر نویز نمک و فلفل تا ۸۰٪ افزایش داد.

Table (5): Comparing the performance of other watermarking plans with proposal to deal with cropping attacks
 جدول (۵): مقایسه عملکرد سایر طرح‌های نهان‌نگاری با طرح پیشنهادی در مقابله با حملات برش

طرح‌های نهان‌نگاری	درصد برش	مزایا	معایب
جاسازی پنج نسخه از اطلاعات نهان‌نگار در چهار گوشه و مرکز تصویر میزبان [۱۲].	۷۵	استخراج اطلاعات نهان‌نگار تا برش ۷۵ درصد	- نهان‌نگاری غیر کور - غیر تصادفی بودن برش تصویر
جاسازی اطلاعات نهان‌نگار در اجزای رنگی تصویر میزبان [۱۳].	۵۰	افزایش حجم اطلاعات نهان‌نگار جاسازی شده	- نهان‌نگاری غیر کور
اعمال تبدیل آرنولد بر روی اطلاعات نهان‌نگار و استفاده از تبدیل موجک گسسته [۱۸].	۲۵	نهان‌نگاری کور	- ناکارآمد بودن در برابر برش‌های بیش از ۲۵ درصد
جاسازی اطلاعات نهان‌نگار در اجزای رنگی تصویر میزبان و استفاده از عملگرهای جمع و ضرب [۱۹].	۹۰	مقاوم بودن در برابر برش‌های با درصد بالا	- عملیات زیاد جهت استخراج اطلاعات نهان‌نگار صحیح - واضح نبودن اطلاعات نهان‌نگار استخراج شده
طرح پیشنهادی در این مقاله [۲۰].	۹۸.۸	نهان‌نگاری کور مقاوم بودن در برابر برش‌های با درصد بالا استخراج کامل نهان‌نگار در برش‌های تا ۹۸.۸ درصد	- حجم کم اطلاعات نهان‌نگار جهت جاسازی اطلاعات در تصویر میزبان

همان‌طور که در جدول (۵) نیز مشخص است، روش نهان‌نگاری پیشنهادی در این مقاله یک روش نهان‌نگاری کور است که در هنگام استخراج اطلاعات به تصویر میزبان نیازی ندارد، علاوه بر این در برابر ۹۸/۸ درصد از حمله‌ی برش نیز مقاوم بوده و اطلاعات نهان‌نگار به‌طور کامل استخراج می‌گردد.

Table (6): Comparing the performance of other watermarking plans with proposal to deal with salt and peppers noise
جدول (۶): مقایسه عملکرد سایر طرح‌های نهان‌نگاری با طرح پیشنهادی در مقابله با نویز نمک و فلفل

طرح‌های نهان‌نگاری	درصد نمک و فلفل	مزایا	معایب
تکرار اطلاعات نهان نگار در کل تصویر میزبان [۲۱].	۴۰	کور بودن نهان‌نگاری	- ناکارآمد بودن در برش‌های بالاتر از ۳۵ درصد
جاسازی ۸ نسخه از اطلاعات نهان نگار در زیر بخش‌های HL و LH در تبدیل موجک گسسته‌ی تصویر میزبان [۲۲].	۴۰	بازیابی مناسب	- ناکارآمد بودن در برش‌های بالاتر از ۴۰ درصد - کور نبودن روش نهان‌نگاری
استفاده از تبدیل موجک دوسطحی و تبدیل آرنولد [۲۳].	۵۰	کور بودن نهان‌نگاری	- تغییر عملکرد طرح در تصاویر میزبان مختلف
استفاده از جدول سودوکو جهت جاسازی و استخراج اطلاعات [۲۴].	۷۸	کور بودن نهان‌نگاری	- نیاز به کلید جدول سودوکو جهت استخراج - عدم وجود الگوریتمی مشخص جهت استخراج اطلاعات
طرح پیشنهادی در این مقاله	۸۰	کور بودن نهان‌نگاری استخراج کامل اطلاعات نهان‌نگار اصلی تا حمله نمک و فلفل ۸۰ درصد	- عدم توانایی برای استخراج کامل اطلاعات نهان‌نگار اصلی در حملات نمک و فلفل بالاتر از ۸۰ درصد - حجم کم اطلاعات نهان‌نگار جهت جاسازی اطلاعات در تصویر میزبان

پی‌نوشت:

- 16- Discrete Cosine Transform (DCT)
- 17- Singular Value Decomposition (SVD)
- 18- Extract
- 19- Salt and Pepper Noise
- 20- JPEG
- 21- Cropping
- 22- Non blind
- 23- Blind
- 24- Cell
- 25- Symbol
- 26- Region
- 27- Mean Squar Error
- 28- Peak Signal to Noise Ratio
- 29- Bit Error Rate

- 1- Cryptography
- 2- Hiding Data
- 3- Embedding
- 4- Steganography
- 5- Watermarking
- 6- Watermark Data
- 7- Host Data
- 8- Watermarked Data
- 9- Digital Watermarking
- 10- Digital Image Watermarking
- 11- Spatial Domain
- 12- Transform Domain
- 13- Pixel
- 14- Least Significant Bit
- 15- Discrete Wavelet Transform (DWT)

References

- [1] S.M. Mousavi, A. Naghsh, S.A.R. Abu-Bakar, "Watermarking techniques used in medical image: a survey", Journal of Digital Imaging, Vol. 27, No. 6, pp. 714-729, Dec. 2014.
- [2] Sunesh, H. Kumar, "Watermark attacks and applications in watermarking", Proceedings published in International Journal of Computer Applications, Vol. 5, No. 10, pp. 1-3, May. 2012.
- [3] M.S.H. Goli, A. Naghsh, "Compare watermarking audio signal in image using transform domain", Proceeding of the MNE, pp. 78-81, Majlesi, Iran, 2016.
- [4] M.S.H. Goli, A. Naghsh, "Robust digital image watermarking against salt and pepper noise using two-step sudoku", pp. 96-116, Proceeding of the MNE, Majlesi, Iran, 2016.
- [5] V. Gupta, A. Barve, "A review on image watermarking and its techniques", International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, Vol. 2, No.1, pp. 73-81, Jan. 2014.
- [6] M.S.H. Goli, A. Naghsh, "Robust digital image watermarking against salt and pepper noise using two-step sudoku", Proceeding of the ICEEC, pp. 65-73, Tehran, Iran, 2016.
- [7] M.S.H. Goli, A. Naghsh, "Introducing a new method robust against crop attack in digital image watermarking using two-step sudoku", Proceeding of the IPRIA, pp. 53-63, Shahrekord, Iran, 2017.
- [8] M.S.H. Goli, A. Naghsh, "A comparative study of image-in-image steganography using three methods of least significant bit, discrete wavelet transform and singular value decomposition", Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège, Vol. 85, No. 1, pp. 1465 - 1474, Dec. 2016.
- [9] S.H. Saneie, A. Naghsh, "Robust digital image watermarking against cropping using sudoku in spatial and transform domain", Journal of Intelligent Procedures in Electrical Technology, Vol. 7, No.27, pp. 13-26, Agu. 2015.
- [10] S.H. Saneie, A. Naghsh, "Introducing a new method of robust digital image watermarking against cropping and salt & pepper noise using sudoku", Majlesi Journal of Multimedia Processing, Vol.4, No.4, pp. 1-4, Dec. 2015.
- [11] K.A. Khalid Shamsul, M.D. Mustafa, M.M. Kamaruddin, "Anti cropping digital image watermarking using sudoku", International Journal of Grid and Utility Computing, Vol. 4, No. 3, pp. 1-9, Sep. 2013.
- [12] K.A. Khalid Shamsul, M.D. Mustafa, M.M. Kamaruddin, "A robust digital image watermarking against salt & pepper using sudoku", Proceeding of the ICIEIS, Malaysia, 2013.

- [13] I.J. Cox, J. Kilian, T. Leighton, T. Shamoon, "A secure, robust watermark for multimedia", Workshop on Information Hiding, Cambridge, Jun. 1996.
- [14] Y.M. Fang, J.W. Huang, S.Q. Wu, "CDMA-based watermarking resisting to cropping", Proceedings of the ISCAS, pp.25-28, Vancouver, Canada, May.2004.
- [15] A. Aggarwal, M. Singla, "Robust water marking 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, Jun. 2011.
- [16] S. Rawat, B. Raman, "A new robust watermarking scheme for color images", Proceedings of the IEEE 2nd International Advance Computing Conference, pp. 206-209, Patiala, India, Feb. 2010.
- [17] R. Shetty, B.R. Rohith, J. Mukund, H. Rohan, "Steganography using sudoku puzzle", in Proceedings of the IEEE/ARTCC, pp.623-626, Kerala, India, Oct.2009.
- [18] E. Russell, F. Jarvis, "Mathematics of sudoku 11", Mathematical Spectrum, Vol. 39, No. 2, pp.54-58, Jun. 2007.
- [19] W.C. Wu, G.R. Ren, "A new approach to image authentication using chaotic map and sudoku puzzle", Proceedings of the IEEE/IH-MSP, pp. 628431, Kyoto, Japan, Sep.2009.
- [20] Y. Zou, X.L. Tian, S.W. Xia, Y. Song, "A novel image scrambling algorithm based on sudoku puzzle", Proceedings of the IEEE 4th International Congress on Image and Signal Processing, pp.737-740, Shanghai, China, Oct. 2011.
- [21] L. Zhang, X. Yan, H. Li, M. Chen, "A dynamic multiple watermarking algorithm based on DWT and HVS", International Journal of Communication, Network and System Sciences, Vol. 5, No. 1, pp. 490-495, Aug. 2012.
- [22] N. Ramamurthy, S. Varadarajan, "Robust digital image watermarking scheme with neural network and fuzzy logic approach", International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, Vol. 2, No. 9, pp. 120-125, Sep. 2012.
- [23] K. Singh, R. Kaur, "Robust watermarking scheme against geometrical attacks", International Journal of Computer Science and Mobile Computing, Vol. 2, No. 4, pp.278-284, April. 2013.
- [24] S. Rohith, K.N.H. Bhat, "A simple robust digital image watermarking against salt and pepper noise using repetition codes", International Journal of Signal Image Process, Vol. 3, No. 1, pp. 47-54, May. 2012.
- [25] K. Pal, G. Ghosh, M. Bhattacharya, "Biomedical image watermarking in wavelet domain for data integrity using bit majority algorithm and multiple copies of hidden information", American Journal of Biomedical Engineering, Vol. 2, No. 2, pp. 29-37, Dec. 2012.
- [26] M. Khalili, "A novel effective, secure and robust CDMA digital image watermarking in YUY color space using DWT2", International Journal of Computer Science Issue, Vol. 8, No. 3, pp. 70-78, Jun. 2012.
- [27] N. Ramamurthy, S. Varadarajan, "The robust digital image watermarking using quantization and fuzzy logic approach in DWT domain", International Journal of Computer Science and Network, Vol. 1, No. 5, pp.13-19, Jun. 2012.