

## روشی جدید در نهان نگاری تصاویر رنگی بر اساس فضای رنگی $Y P_b P_r$ در حوزه FWHT

محمد رضا ظل انوار<sup>۱</sup>، حسین قانعی یخدان<sup>۲</sup>، علی محمد لطیف<sup>۳\*</sup>

۱- کارشناسی ارشد، ۲- استادیار، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه یزد

۳- استادیار، گروه مهندسی کامپیوتر پردیس فنی و مهندسی، دانشگاه یزد

(دریافت: ۹۴/۰۹/۰۴، پذیرش: ۹۵/۰۸/۱۰)

### چکیده

سامانه‌های نهان نگاری با توجه به کاربرد دارای ویژگی‌های مختلفی هستند که شفافیت و مقاومت از مهم‌ترین آن‌ها می‌باشند. این دو ویژگی در تضاد با یکدیگر هستند. در این مقاله، دو روش جدید در حوزه FWHT و فضای رنگی  $Y P_b P_r$  جهت جاسازی نهان نگاره ارائه می‌شود. روش اول برای جاسازی نهان نگاره باینری در تصویر رنگی میزبان پیشنهاد شده است که در آن، نهان نگاره در مؤلفه رنگی  $P_b$  جاسازی می‌شود. روش دوم برای جاسازی نهان نگاره رنگی در تصویر رنگی میزبان پیشنهاد شده است. در این روش مؤلفه‌های  $Y$ ،  $P_b$  و  $P_r$  تصویر نهان نگاره به ترتیب در مؤلفه‌های  $Y$ ،  $P_b$  و  $P_r$  تصویر میزبان جاسازی می‌شوند. این روش‌ها دارای شفافیت و مقاومت مناسبی می‌باشند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد، مقادیر PSNR و NCC نسبت به روش‌های [۱۱-۷] و [۱۸] به ترتیب حدود ۱۰/۷۴ dB و ۰/۰۵ افزایش می‌یابند.

**واژه‌های کلیدی:** نهان نگاری تصاویر رنگی،  $Y P_b P_r$ ، والش- هادامارد، مقاومت، شفافیت

### ۱- مقدمه

از نهان نگاره محافظت کرد [۳]. این دو ویژگی نسبت به یکدیگر رابطه عکس دارند. هرچه مقاومت افزایش یابد، شفافیت کاهش پیدا می‌کند و برعکس. اهمیت پارامتر شفافیت از آنجایی است که باید تشخیص تصویر نهان نگاری شده از تصویر اصلی غیرممکن باشد؛ یعنی نتوان تشخیص داد که درون تصویر اطلاعاتی جاسازی شده است. در این صورت احتمال این که به تصویر حمله شود کم است. از طرفی اهمیت پارامتر مقاومت از این جهت می‌باشد که بعد از حمله به تصویر بتوان اطلاعات نهان نگاره را به طوری که قابل تشخیص باشد، استخراج کرد.

فرآیند نهان نگاری تصاویر دیجیتال شامل تعبیه کردن اطلاعات مخفی به نام نهان نگاره در تصویر میزبان می‌باشد، به نحوی که غیرقابل مشاهده باشد و نتوان آن را از تصویر میزبان به راحتی جدا نمود. نهان نگاری کاربردهای گوناگونی دارد که مهم‌ترین کاربرد آن اثبات حق مالکیت نسبت به یک داده دیجیتال می‌باشد [۱]. صاحب داده دیجیتال می‌تواند با استخراج اطلاعات مخفی شده، مالکیت خود را نسبت به محصول اثبات نماید [۲].

روند درج تصویر نهان نگاره در یک سامانه نهان نگاری با استفاده از حوزه تبدیل به صورت شکل (۱) می‌باشد. همان طور که در این شکل مشخص است، از تصویر میزبان و تصویر نهان نگاره تبدیل گرفته می‌شود و سپس تصویر نهان نگاره درون تصویر میزبان درج می‌شود. پس از آن معکوس تبدیل محاسبه و تصویر نهان نگاری شده به دست می‌آید.

در نهان نگاری، پارامترهایی همچون شفافیت و مقاومت نقش مهمی را ایفا می‌کنند. برای حفظ شفافیت پس از درج نهان نگاره، نباید تصویر نهان نگاری شده با تصویر اصلی تفاوت فاحشی داشته باشد. برای مقاوم بودن باید دامنه داده‌هایی که وارد می‌شود تا حدی بزرگ باشد که بتوان در برابر حمله‌های مختلف



شکل (۱). نحوه ساخت شبکه اولیه.

با توجه به کاربرد و هدف نهان نگاری، روش‌های مختلفی برای نهان نگاری تصاویر دیجیتال پیشنهاد شده است. در [۴] روشی مبتنی بر کد والش برای افزایش ظرفیت اطلاعات و آشکارسازی دقیق اطلاعات ارائه شده است.

در الگوریتم پیشنهاد شده از مؤلفه  $Y$  (روشنایی) در یک تصویر رنگی  $512 \times 512$ ، برای تعبیه نهان نگاره استفاده شده است که فرآیند تعبیه با استفاده از روش طیف گسترده در حوزه

DCT<sup>۱</sup> صورت می‌گیرد.

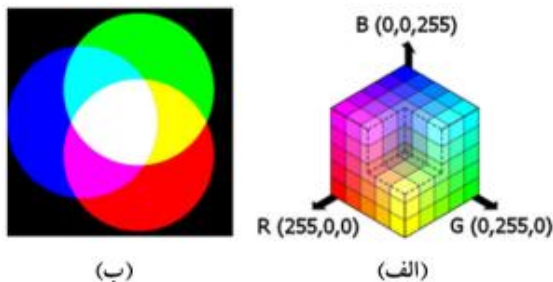
هدف ما در این مقاله یافتن روشی جدید جهت مقاوم‌سازی سامانه نهان‌نگاری تصاویر رنگی است؛ البته با این شرط که شفافیت تصویر حفظ شود. برای محقق شدن این امر، دو روش با فضای رنگی  $Y P_b P_r$  و حوزه تبدیل والش-هادامارد سریع (FWHT<sup>۵</sup>) پیشنهاد می‌شود. در روش اول تصویر میزبان رنگی و تصویر نهان‌نگاره، باینری انتخاب می‌شود و در روش دوم تصویر میزبان و تصویر نهان‌نگاره هر دو رنگی انتخاب می‌شوند.

این مقاله در ۵ بخش سازمان‌دهی شده است: تعریف مفاهیم اولیه و روابط ریاضی در بخش دوم ارائه می‌شود. الگوریتم پیشنهادی در بخش سوم شرح داده می‌شود. نتایج شبیه‌سازی الگوریتم پیشنهادی به‌طور کامل برای دو روش ارائه‌شده در بخش چهارم بیان شده و نتیجه‌گیری در بخش پنجم ارائه خواهد شد.

## ۲- تعریف مفاهیم اولیه

### ۲-۱- فضای رنگی RGB و $Y P_b P_r$

• **فضای RGB:** تمام رنگ‌ها از ترکیب سه رنگ اصلی قرمز (R)، سبز (G) و آبی (B) تشکیل می‌شوند. برای مثال، با ترکیب رنگ قرمز (۲۵۵, ۰, ۰) و رنگ سبز (۰, ۲۵۵, ۰)، رنگ زرد (۲۵۵, ۲۵۵, ۰) تولید می‌شود. مقدار هر یک از رنگ‌های اصلی نشان از شدت آن است. اگر تمام مؤلفه‌های رنگ بیشینه شدت را داشته باشند آنگاه رنگ سفید (۲۵۵, ۲۵۵, ۲۵۵) تولید می‌شود و اگر عکس این موضوع برقرار باشد رنگ سیاه (۰, ۰, ۰) تولید خواهد شد (شکل (۲)). این عملکرد در فناوری صفحه‌نمایش بسیار کاربرد دارد. از معایب این فضای رنگی می‌توان به همبستگی زیاد بین کانال‌های رنگ اشاره کرد. برای اینکه همبستگی بین کانال‌های رنگ کمتر شود باید شدت روشنایی از مؤلفه‌های رنگ جدا شود. برای این منظور در این مقاله از فضای رنگی  $Y P_b P_r$  استفاده می‌شود.



شکل (۲). (الف) - فضای رنگی RGB به شکل مکعب، (ب) - ترکیب ۳ رنگ اصلی [۱۲]

در [۵] نهان‌نگاری و فقی با استفاده از تبدیل هادامارد برای محافظت از حق نشر ارائه شده است. در روش ارائه‌شده جاسازی نهان‌نگاره بر اساس عامل مقیاس‌گذاری تصویر صورت می‌گیرد. استخراج نهان‌نگاره به این صورت می‌باشد که ابتدا تصویر رنگی میزبان و تصویر نهان‌نگاری شده به‌عنوان ورودی گرفته شده، آن‌گاه از فضای RGB به YUV انتقال داده می‌شود. سپس تبدیل هادامارد بر روی مؤلفه روشنایی (Y) تصویر میزبان و تصویر نهان‌نگاری شده اعمال می‌شود.

در زمینه نهان‌نگاری تصاویر رنگی، Kutter و همکارانش [۶]، نهان‌نگاره را در مؤلفه آبی (B) تصویر رنگی میزبان جاسازی کردند. آن‌ها دلیل استفاده از مؤلفه رنگ آبی برای جاسازی نهان‌نگاره را حساسیت کمتر چشم انسان نسبت به رنگ آبی مطرح نمودند. با این حال، پس از اعمال حمله‌هایی از جمله فشرده‌سازی JPEG مؤلفه‌های آبی و قرمز از تصویر RGB، انرژی قابل توجهی را از دست می‌دهند. در [۷] مؤلفه سبز (G) از یک تصویر RGB برای جاسازی نهان‌نگاره انتخاب می‌شود و این کار در حوزه  $DWT^2-SVD^3$  انجام شده است.

Roy و همکارانش [۸] روشی مبتنی بر نهان‌نگاری تصاویر رنگی مطرح نموده و ادعا کردند که فضای رنگی  $Y C_b C_r$  یک فضای رنگی ادراکی مناسب است. آن‌ها برای جاسازی نهان‌نگاره از مؤلفه  $C_b$  استفاده می‌کنند. در [۹] روش جدیدی با استفاده از ترکیب تبدیل‌های DCT<sup>۴</sup> و PCA<sup>۴</sup> به‌منظور استفاده از باند فرکانسی پایین برای تصویر رنگی در فضای رنگی YUV مطرح شده است. در این روش از مؤلفه روشنایی Y برای جاسازی نهان‌نگاره استفاده شده است. در [۱۰] همانند روش [۹] از ترکیب تبدیل‌های DCT و PCA استفاده شده است و نهان‌نگاره در فضای رنگی  $Y C_b C_r$  در مؤلفه Y، جاسازی می‌شود.

Saha و همکارانش [۱۱]، روشی مقاوم در نهان‌نگاری تصاویر رنگی با استفاده از حوزه DCT ارائه کردند. در روش پیشنهادی آن‌ها، تصویر رنگی میزبان و تصویر رنگی نهان‌نگاره به ۳ مؤلفه رنگی مجزا (R,G,B) تبدیل می‌شوند. جاسازی نهان‌نگاره به این صورت است که مؤلفه‌های R، G و B تصویر نهان‌نگاره به ترتیب در مؤلفه‌های R، G و B تصویر میزبان جاسازی می‌شوند. عیب این روش استفاده از فضای رنگی RGB برای جاسازی نهان‌نگاره می‌باشد، زیرا همبستگی بین کانال‌های رنگی RGB زیاد بوده و مقاومت نهان‌نگاره در برابر حمله‌های مختلف کاهش می‌یابد.

- 1- Discrete Cosine Transform
- 2- Discrete Wavelet Transform
- 3- Singular Value Decomposition
- 4- Principal Component Analysis

از بسط سری توابع پایه‌ای که مقادیرشان  $+1$  یا  $-1$  است، تشکیل می‌شود [۱۳].

ماتریس تبدیل هادامارد یک ماتریس مربع متعامد است که مقدار عناصر آن تنها  $1$  و  $-1$  می‌باشد. این تبدیل به تبدیل والش-هادامارد معروف است. پایین‌ترین مرتبه ماتریس هادامارد به صورت رابطه (۳) تعریف می‌شود و ماتریس‌های مرتبه بالاتر آن طبق رابطه (۴) تولید می‌شوند [۱۳].

$$H_1 = \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$H_N = H_1 \otimes H_{N-1} = \begin{bmatrix} H_{N-1} & H_{N-1} \\ H_{N-1} & -H_{N-1} \end{bmatrix} \quad (4)$$

که در آن  $H$  ماتریس هادامارد و  $N$  مرتبه ماتریس هادامارد می‌باشد. به طور مثال در رابطه (۵) یک ماتریس هادامارد  $4 \times 4$  نمایش داده شده است.

$$H_2 = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & 1 & \vdots & 1 & 1 & 0 \\ 1 & -1 & \vdots & 1 & -1 & 3 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 1 & \vdots & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & \vdots & -1 & 1 & 2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

شماره‌های کنار هر سطر در رابطه (۵)، دنباله<sup>۵</sup> سطر نامیده می‌شوند. دنباله سطر بر اساس تغییر علامت‌ها در هر ردیف یا سطر محاسبه می‌شود. در حقیقت دنباله، تفسیری است از فرکانس که توسط هارموت<sup>۶</sup> ابداع شد. پس می‌توان ماتریس هاداماردی ساخت که دارای مرتبه  $N=2n$  باشد و دارای مؤلفه دنباله اعداد صحیح از  $0$  تا  $N-1$  نیز باشد. تعبیر فرکانسی از دنباله‌ها (تغییر علامت در ردیف‌های ماتریس هادامارد) را می‌توان به صورت یک موج مربعی که بین  $+1$  و  $-1$  با زیر تناوب<sup>۷</sup>  $\frac{1}{N}$  است، تصور کرد؛ بنابراین هر کجا به ماتریس هادامارد اشاره می‌شود، در واقع انجام تجزیه یک تابع توسط مجموعه‌ای از امواج مربعی به جای امواج سینوسی مدنظر می‌باشد. تبدیل مستقیم والش-هادامارد به صورت رابطه (۶) می‌باشد [۱۴].

در این رابطه  $b_i^x$  و  $b_i^u$  به صورت رابطه (۷) محاسبه می‌شود.

$$\begin{aligned} f(x), x = 0, \dots, N-1 \text{ where } N = 2^n \\ f(x) \ll WH(u) \\ (x)_{10} = (b_{n-1}(x)b_{n-2}(x) \dots b_0(x))_2, b_i(x) = \\ 0 \text{ or } 1 \text{ for } i = 0, \dots, n-1 \end{aligned} \quad (7)$$

• فضای  $Y P_b P_r$ : در فضای رنگی  $Y P_b P_r$ ، مؤلفه روشنایی ( $Y$ ) و مؤلفه‌های رنگی<sup>۱</sup> ( $P_b$ ) آبی بدون روشنایی و  $P_r$  قرمز بدون روشنایی) مشخص شده است. در واقع سیستم  $Y P_b P_r$  در مقایسه با سیستم  $Y C_b C_r$  دارای ضریب مقیاس و سطح DC متفاوت بوده و بیشتر در ویدئوی مؤلفه‌ای<sup>۲</sup> کاربرد دارد؛ یعنی برای ارسال سه مؤلفه سیگنال ویدئو از سه کابل جداگانه استفاده می‌گردد. این در حالی است که از مدل  $Y C_b C_r$  در ویدئوی مرکب<sup>۳</sup> استفاده شده و هر سه مؤلفه آن با یک کابل ارسال می‌شود. تبدیل RGB به  $Y P_b P_r$  بر اساس رابطه (۱) و عکس این تبدیل بر اساس رابطه (۲) است [۱۲].

$$Y = 0.299 R + 0.587 G + 0.114 B \\ P_b = -0.168736 R - 0.331264 G + 0.5 B \quad (1)$$

$$P_r = 0.5 R - 0.418688 G - 0.081312 B$$

$$R = Y - 0.000926 P_b + 1.401686 P_r \\ G = Y - 0.343695 P_b - 0.714169 P_r \quad (2)$$

$$B = Y + 1.772160 P_b + 0.00099 P_r$$

از مزایای این فضای رنگی می‌توان به همبستگی کم بین کانال‌های رنگ اشاره نمود که منجر به مقاومت بیشتر نهان نگاره در برابر حمله‌های مختلف می‌شود که در بخش سوم به تشریح آن پرداخته می‌شود.

## ۲-۲- تبدیل والش-هادامارد سریع (FWHT)

تبدیل والش-هادامارد، تبدیلی غیر سینوسی و متعامد است که سیگنال را درون توابع پایه تجزیه می‌کند. این تبدیل در پردازش تصویر، پردازش سیگنال‌های گفتار و پزشکی، فیلترینگ و توصیف سیگنال‌های غیرخطی استفاده می‌شود. برای کم کردن پهنای باند از تبدیل والش-هادامارد سریع که به حافظه کمتری برای ذخیره‌سازی نیاز دارد، استفاده می‌گردد. این امر موجب

$$WH(u) = \frac{1}{N} \left( \sum_{x=0}^{N-1} f(x) (-1)^i \sum_{i=0}^{n-1} b_i(x) b_i(u) \right) \quad (6)$$

می‌گردد تا محاسبات ساده و سریع‌تر انجام گیرد. تبدیل والش-هادامارد به هیچ ضرب‌کننده‌ای نیاز ندارد و حقیقی می‌باشد؛ زیرا توابع پایه<sup>۴</sup> آن توابع والش یا هادامارد می‌باشد که برخلاف تبدیل فوری که بر اساس عبارات مثلثاتی است، این توابع

5- Sequency  
6- Harmuth  
7- Subperiod

1- Chrominance  
2- Component Video  
3- Composite Video  
4- Basis Function

RGB می‌باشد. پس از اینکه تبدیل RGB به  $Y_P P_R$  انجام می‌شود، مؤلفه‌های رنگ از روشنایی جدا شده و باعث کمتر شدن همبستگی بین کانال‌های رنگ می‌شود. سپس نهان‌نگاره در داخل کانال‌های رنگ جاسازی می‌گردد.

در روش اول، الگوریتمی جهت جاسازی نهان‌نگاره‌ی باینری در تصویر رنگی پیشنهاد می‌شود و در روش دوم، الگوریتمی جهت جاسازی نهان‌نگاره‌ی رنگی در تصویر رنگی پیشنهاد می‌شود. بعد از آزمایش‌های مختلف بر روی تمام فضاهای رنگی و طبق نتایج به‌دست‌آمده، مشخص شد که فضای رنگی  $Y_P P_R$  برای جاسازی نهان‌نگاره نسبت به فضاهای رنگی دیگر عملکرد بهتری دارد و همبستگی بین کانال‌های رنگی آن کمتر می‌باشد؛ بنابراین در این مقاله از این فضای رنگی برای جاسازی نهان‌نگاره استفاده می‌شود. تمام آزمایش‌ها توسط یک لپ‌تاپ با حافظه GB ۷۵۰ و رم ۲ GB در محیط ویندوز ۲۰۱۰ با برنامه متلب ۲۰۱۴ شبیه‌سازی شده است.

### ۳-۱- روش اول: الگوریتم پیشنهادی برای جاسازی

#### نهان‌نگاره‌ی باینری در تصویر رنگی

در این روش از یک تصویر باینری به‌عنوان تصویر نهان‌نگاره استفاده نموده و سپس با روشی مناسب در تصویر رنگی میزبان جاسازی می‌گردد. در روش ارائه‌شده تصویر رنگی میزبان به فضای رنگی  $Y_P P_R$  تبدیل می‌شود. سپس از مؤلفه  $P_B$  تصویر میزبان و تصویر باینری نهان‌نگاره تبدیل والش- هادامارد سریع گرفته می‌شود. در حوزه فرکانس بر اساس الگوریتم شکل (۳-الف) تصویر نهان‌نگاره در مؤلفه  $P_B$  تصویر میزبان جاسازی می‌شود و بعد از اعمال عکس تبدیل والش- هادامارد سریع، مؤلفه  $P_B$  جدید به‌دست می‌آید و با برگرداندن تصویر میزبان از فضای رنگی  $Y_P P_R$  به فضای رنگی RGB، تصویر نهان‌نگاره‌ی شده به دست می‌آید. جاسازی نهان‌نگاره بر اساس رابطه (۹) صورت می‌پذیرد.

$$I = I + (a \times W) \quad (9)$$

در این رابطه،  $I$  تصویر نهان‌نگاره‌ی شده،  $W$  تصویر نهان‌نگاره،  $I$  مؤلفه  $P_B$  تصویر میزبان و  $a$  ضریب مقیاس<sup>۱</sup> می‌باشد. ضریب مقیاس عامل تعیین‌کننده‌ی در جاسازی نهان‌نگاره دارد. در واقع تصویر نهان‌نگاره با این ضریب در تصویر میزبان جاسازی می‌شود که در بخش‌های بعدی به تشریح آن پرداخته می‌شود. برای استخراج نهان‌نگاره ابتدا تصویر نهان‌نگاره‌ی شده به فضای رنگی  $Y_P P_R$  تبدیل می‌شود و از مؤلفه  $P_B$  آن تبدیل FWHT گرفته می‌شود. سپس در حوزه فرکانس بر اساس الگوریتم شکل

$$(u)_{10} = (b_{n-1}(u)b_{n-2}(u) \dots b_0(u))_2, b_i(u) = 0 \text{ or } 1 \text{ for } i = 0, \dots, n-1$$

به‌عنوان مثال با فرض داشتن ۸ نمونه داریم:

$$f(x), x = 0, \dots, 7 \text{ (8 samples)}$$

$$N = 8 \rightarrow n = 3$$

$$f(6), 6 = (110)_2 \rightarrow b_2(6) = 1, b_1(6) = 1, b_0(6) = 0$$

تبدیل معکوس والش- هادامارد به‌صورت رابطه (۸) می‌باشد.

$$f(x) = \sum_{u=0}^{N-1} [WH(u) * (-1)^{\sum_{i=0}^{n-1} b_i(x)b_i(u)}] \quad (8)$$

دلایل استفاده از تبدیل والش- هادامارد و مزیت این تبدیل نسبت به تبدیل‌های دیگر در زیر آمده است:

- ✓ برخلاف تبدیل فوریه و تبدیل کسینوسی که مبتنی بر جملات مثلثاتی می‌باشد، تبدیل والش- هادامارد شامل دنباله‌ای گسترده از توابع پایه‌ای می‌باشد که مقادیر آن‌ها +۱ و -۱ است. این توابع می‌توانند به‌صورت مؤثری در محیط‌های دیجیتال به‌جای توابع نمایی تبدیل فوریه، به‌کار گرفته شوند.
- ✓ هسته‌های تبدیل والش- هادامارد مستقیم و معکوس در حالت یک بعدی شبیه به هم می‌باشند، به‌استثنای یک ضریب  $\frac{1}{N}$  که در تبدیل مستقیم آن وجود دارد ولی در تبدیل معکوس آن نیست.
- ✓ تبدیل والش- هادامارد از امواج مربعی به‌عنوان توابع پایه استفاده می‌کند و این توابع از -۱ تا +۱ متغیرند.
- ✓ برای انجام محاسبات سریع تبدیل والش- هادامارد، چندین الگوریتم ارائه شده است که اصطلاحاً تبدیل سریع والش- هادامارد نامیده می‌شود.
- ✓ تبدیل سریع والش- هادامارد به حافظه کمتری برای ذخیره‌سازی نیاز دارد که این امر موجب می‌گردد تا محاسبات ساده و سریع‌تر انجام گیرد.

### ۳- الگوریتم پیشنهادی

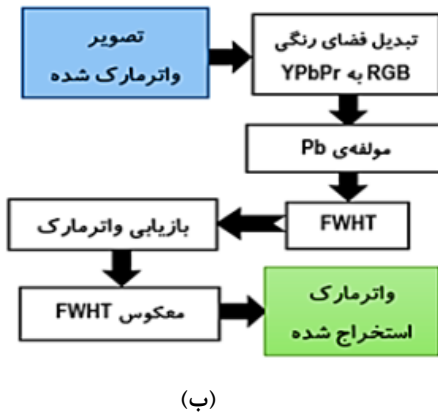
در سامانه‌های نهان‌نگاره‌ی، اطلاعات نهان‌نگاره باید با یک روش مناسب در تصویر میزبان جاسازی شود که غیرقابل مشاهده و در مقابل حمله‌های مختلف مقاوم باشد. برای تحقق این امر، دو روش در نهان‌نگاره‌ی تصاویر رنگی برای بهبود مقاومت و شفافیت تصویر پیشنهاد می‌شود. هر دو روش در حوزه FWHT و در فضای رنگی  $Y_P P_R$  است که به‌عنوان روشی در نهان‌نگاره‌ی تصاویر رنگی ارائه می‌شود. دلیل استفاده از این فضای رنگی  $Y_P P_R$  همبستگی کم بین کانال‌های رنگ در این فضای رنگی نسبت به

1- Random Access Memory (RAM)

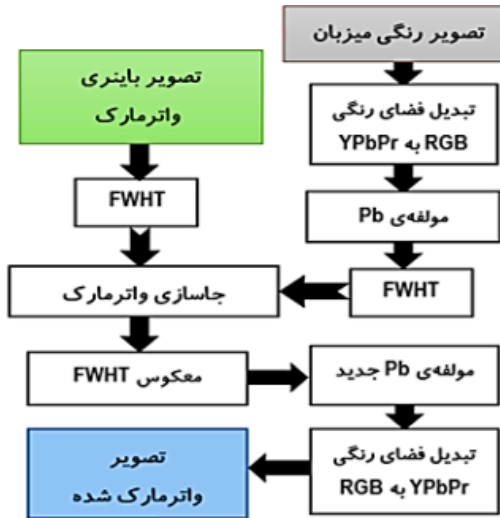
2- Scaling Factor

نهان نگاره استخراج شده می باشد.

$$W = \frac{i-I}{a} \quad (10)$$



(ب)



(الف)

شکل (۳). بلوک دیاگرام روش پیشنهادی اول، (الف) - فرآیند جاسازی نهان نگاره و (ب) - فرآیند استخراج نهان نگاره

داده و آن را نمایش می دهیم. برای استخراج نهان نگاره بر اساس الگوریتم شکل (۵) ابتدا تصویر نهان نگاری شده به فضای رنگی YPbPr تبدیل می شود. سپس از مؤلفه های Y، Pb و Pr آن تبدیل FWHT گرفته می شود و در حوزه فرکانس بر اساس رابطه (۱۰) نهان نگاره بازیابی شده و با اعمال عکس تبدیل FWHT، نهان نگاره استخراج می شود. فرآیند جاسازی و استخراج نهان نگاره برای روش پیشنهادی دوم به ترتیب در شکل های (۴) و (۵) به صورت بلوک دیاگرام نشان داده شده است.

### ۳-۳- تحلیل روش پیشنهادی

#### ۳-۳-۱- مقاومت نهان نگاری و رابطه آن با ضریب مقیاس

یک تصویر با  $N_1 \times N_2$  پیکسل با مقیاس پیوسته به صورت نقاط  $x$  را می توان در یک فضای  $N$  بعدی  $X$ ،  $N = N_1 \times N_2$ ،  $X = [0,1]^N$  نمایش داد. مجموعه تصاویر نهان نگاری شده با نهان نگاره  $w$  به صورت رابطه (۱۱) تعریف می شوند [۱۵].

$$I' = \{x \in X \mid x \cdot w - Th \geq 0\} \quad (11)$$

در این رابطه،  $I'$  تصویر نهان نگاری شده و  $Th$  مقدار آستانه تعیین شده می باشد. مقدار آستانه به صورتی در نظر گرفته می شود که اگر تصویر نهان نگاری شده از این میزان کمتر باشد، نشان دهنده از دست دادن مقاومت تصویر می باشد. از طرفی تصویر نهان نگاری شده نباید بیش از اندازه از سطح آستانه بیشتر باشد، زیرا در این صورت شفافیت تصویر از بین می رود و

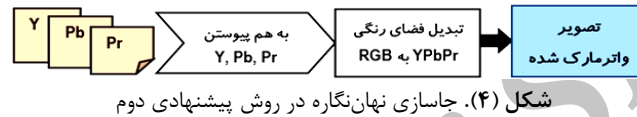
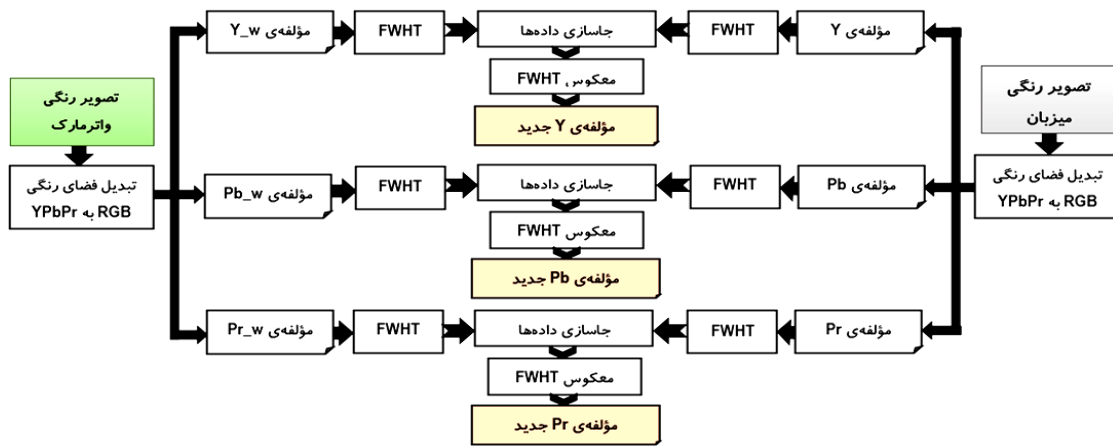
(۳-ب) تصویر نهان نگاره بازیابی شده و با اعمال عکس تبدیل FWHT، نهان نگاره استخراج می شود. استخراج نهان نگاره بر اساس رابطه (۱۰) صورت می پذیرد که در این رابطه  $W$

### ۲-۲- روش دوم: الگوریتم پیشنهادی برای جاسازی

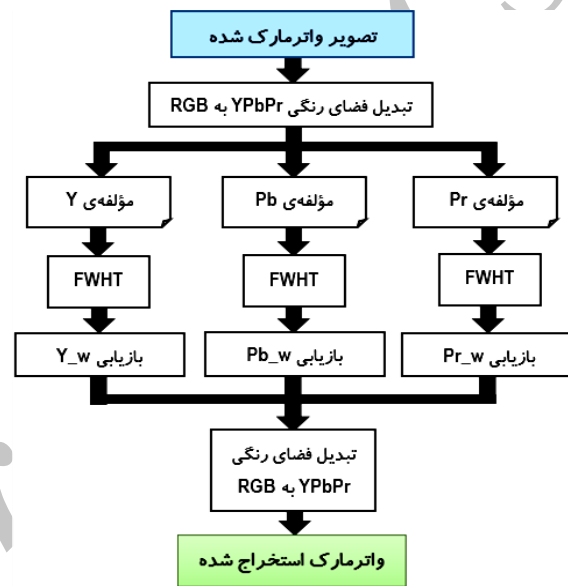
#### نهان نگاره رنگی در تصویر رنگی

در این روش از تصویر رنگی به عنوان نهان نگاره استفاده نموده و سپس با روشی مناسب در تصویر رنگی میزبان جاسازی می گردد. در روش ارائه شده تصویر رنگی میزبان و نهان نگاره هر دو به فضای رنگی YPbPr تبدیل می شوند. سپس بر اساس الگوریتم شکل (۴) مؤلفه های Y، Pb و Pr تصویر نهان نگاره به ترتیب در مؤلفه های Y، Pb و Pr تصویر میزبان جاسازی می شوند. به این صورت که مؤلفه های Y، Pb و Pr تصویر میزبان و نهان نگاره با کمک تبدیل FWHT به حوزه فرکانس انتقال یافته و در آنجا مؤلفه های Y، Pb و Pr تصویر نهان نگاره به ترتیب در مؤلفه های Y، Pb و Pr تصویر میزبان جاسازی می شوند. سپس با اعمال تبدیل معکوس FWHT و تبدیل فضای YPbPr به فضای RGB، تصویر نهان نگاری شده به دست می آید. جاسازی نهان نگاره همانند روش اول طبق رابطه (۹) انجام می شود؛ با این تفاوت که در اینجا از این رابطه سه مرتبه استفاده می شود. به این صورت که ابتدا مؤلفه Y نهان نگاره رنگی را در مؤلفه Y تصویر رنگی میزبان جاسازی می گردد که طبق این رابطه، W همان مؤلفه Y نهان نگاره و I همان مؤلفه Y تصویر میزبان خواهد بود. به همین ترتیب، مؤلفه های Pb و Pr نهان نگاره رنگی در مؤلفه های Pb و Pr تصویر رنگی میزبان جاسازی می شوند. بعد از آن طبق رابطه (۲)، تصویر نهان نگاری شده را از فضای رنگی YPbPr به RGB انتقال

نهان‌نگاره درون تصویر میزبان مشاهده می‌شود. در واقع مقدار نباید از این سطح آستانه بیشتر باشد. آستانه همان سطح آستانه ضریب مقیاس می‌باشد. ضریب مقیاس

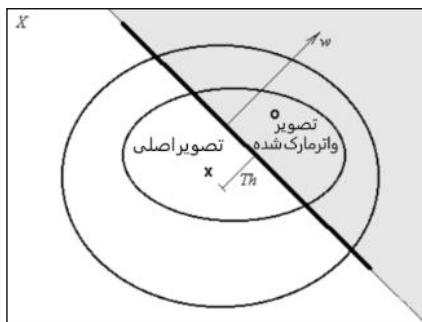


شکل (۴). جاسازی نهان‌نگاره در روش پیشنهادی دوم



شکل (۵). استخراج نهان‌نگاره در روش پیشنهادی دوم

انتخاب مناسب این ضریب از اهمیت بالایی برخوردار است.



شکل (۶). ساختار فضای تصویر

با توجه به رابطه (۹) ضریب مقیاس باید طوری انتخاب شود

مقاومت نهان‌نگاری به صورت رابطه (۱۲) تعریف می‌شود

[۱۵]

$$\mu(w \cap w') / \mu(w) \tag{12}$$

در این رابطه  $w$  نهان‌نگاره استخراج شده و  $\mu$  تابع توزیع احتمال اعوجاج تصویر می‌باشد. به دلیل کوچک بودن  $\mu$  به دست آوردن یک برآورد تقریبی از آن غیرممکن می‌باشد. اندازه‌گیری مقاومت برای محاسبات عملی بر اساس معیار همبستگی متقابل نرمالیزه شده می‌باشد. در شکل (۶) ساختار فضای تصویر در فرآیند نهان‌نگاری نمایش داده شده است. در این شکل خط تیره رنگ مرز بین تصویر اصلی و تصویر نهان‌نگاری شده می‌باشد که توسط ضریب مقیاس تعیین می‌شود؛ بنابراین

(۱۵) تعریف می‌شوند.

$$\sigma_{I_m I_n} = \frac{1}{M * N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [(I_m(i, j) - \mu_{I_m}) * (I_n(i, j) - \mu_{I_n})] \quad (الف-۱۵)$$

$$\sigma_{I_m I_m} = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (I_m(i, j) - \mu_{I_m})^2} \quad (ب-۱۵)$$

$$\sigma_{I_n I_n} = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (I_n(i, j) - \mu_{I_n})^2} \quad (ج-۱۵)$$

در این روابط،  $M \times N$  ابعاد تصویر رنگی،  $I_m(i, j)$  و  $I_n(i, j)$  به ترتیب مقادیر پیکسل تصاویر  $I_m$  و  $I_n$  در موقعیت مکانی  $(i, j)$  برای مؤلفه‌های تصویر رنگی می‌باشند.  $\mu_{I_m}$  و  $\mu_{I_n}$  به ترتیب میانگین مقادیر پیکسل تصاویر  $I_m$  و  $I_n$  هستند که به صورت روابط (۱۶) محاسبه می‌شوند.

$$\mu_{I_m} = \frac{1}{M * N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N I_m(i, j) \quad (الف-۱۶)$$

$$\mu_{I_n} = \frac{1}{M * N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N I_n(i, j) \quad (ب-۱۶)$$

بعد از این که نهان نگاری انجام شد، تصویر  $I$  به  $\Delta I$  و به‌طور مشابه  $I_1$ ،  $I_2$  و  $I_3$  به  $\Delta I_1$ ،  $\Delta I_2$  و  $\Delta I_3$  تغییر پیدا می‌کند. تغییرات بین تصویر اصلی و تصویر نهان نگاری شده به علت جاسازی نهان نگاره درون تصویر رخ می‌دهد که بر اساس تقریب تابع و مشتقات آن به کمک سری تیلور [۱۶]، می‌توان آن را به صورت رابطه (۱۷) بیان نمود.

$$\Delta I = \frac{\partial I}{\partial I_1} \Delta I_1 + \frac{\partial I}{\partial I_2} \Delta I_2 + \frac{\partial I}{\partial I_3} \Delta I_3 + \sigma_{I_1 I_2} f_1(\Delta I_1, \Delta I_2) + \sigma_{I_2 I_3} f_2(\Delta I_2, \Delta I_3) + \sigma_{I_1 I_3} f_3(\Delta I_1, \Delta I_3) \quad (۱۷)$$

در این رابطه،  $f_1$ ،  $f_2$  و  $f_3$  توابعی دلخواه می‌باشند. برای مقاوم بودن نهان نگاری باید تغییرات بین تصویر اصلی و تصویر نهان نگاری شده خیلی کم باشد، یعنی  $\Delta I$  باید حداقل گردد. برای این که  $\Delta I$  حداقل گردد باید  $\sigma_{I_1 I_2}$ ،  $\sigma_{I_1 I_3}$  و  $\sigma_{I_2 I_3}$  حداقل باشند، یا به عبارت دیگر مستقل از هم باشند؛ یعنی تغییراتی که جهت جاسازی نهان نگاره بر روی یک مؤلفه رنگی تصویر اصلی صورت می‌گیرد، اثر کمی بر روی مؤلفه‌های رنگی دیگر بگذارد و باعث تغییرات آن‌ها نشود. زمانی که  $\sigma_{I_1 I_2}$ ،  $\sigma_{I_1 I_3}$  و  $\sigma_{I_2 I_3}$  حداقل باشند، همبستگی بین جفت متغیرهای تصادفی  $(I_1, I_2)$ ،  $(I_1, I_3)$  و  $(I_2, I_3)$  کاهش می‌یابد.

برای سه مؤلفه رنگ  $I_1$ ،  $I_2$  و  $I_3$  سه جفت همبستگی به صورت همبستگی بین رنگ‌های  $(I_1, I_2)$ ،  $(I_1, I_3)$  و  $(I_2, I_3)$  محاسبه می‌شود. در جدول (۱) میانگین مقادیر ضریب همبستگی

که توافقی بین شفافیت و مقاومت برقرار گردد. هرچه ضریب مقیاس بزرگ انتخاب شود، شفافیت تصویر کاهش می‌یابد و درعین حال مقاومت نهان نگاره افزایش خواهد یافت؛ بنابراین با انتخاب مناسب ضریب مقیاس می‌توان در عین حفظ شفافیت تصویر، مقاومت نهان نگاره را در برابر حمله‌های مختلف افزایش داد. برای محاسبه دقیق تر ضریب مقیاس می‌توان تابعی جهت ایجاد توازن بین دو پارامتر شفافیت و مقاومت، طراحی نمود. به این تابع که طبق رابطه (۱۳) تعریف می‌شود، تابع شایستگی می‌گویند.

$$f(\alpha) = PSNR + \alpha * NCC \quad (Three \ of \ Attacks) \quad (۱۳)$$

در این رابطه  $\alpha$  ضریب مقیاس، PSNR شفافیت تصویر قبل از اعمال حمله و NCC میانگین مقاومت تصویر در برابر حمله‌های مختلف نظیر JPEG، با ضریب کیفیت ۵۰، نمک و فلفل با ضریب ۰/۱ و فیلتر میانگین می‌باشد. با توجه به رابطه (۱۳)، ابتدا ضریب مقیاس‌های مختلفی به تابع داده می‌شود و بر اساس آن‌ها شفافیت و مقاومت تصویر محاسبه و درون تابع قرار داده می‌شود. سپس نمودار این تابع به دست می‌آید. ضریب مقیاسی که باعث ماکزیمم شدن این تابع می‌شود، به عنوان مناسب‌ترین ضریب مقیاس انتخاب می‌شود که باعث ایجاد توازن بین شفافیت و مقاومت می‌شود. در بخش چهارم تابع شایستگی برای صد ضریب مقیاس محاسبه و نمودار آن نمایش داده خواهد شد.

### ۳-۲-۳- رابطه‌ی بین همبستگی مؤلفه‌های فضای رنگی با مقاومت نهان نگاره

یک تصویر رنگی شامل سه مؤلفه رنگی می‌باشد. با توجه به تصادفی بودن مقادیر این مؤلفه‌ها، می‌توان سه مؤلفه رنگی تصویر دلخواه  $I$  را با سه متغیر تصادفی  $I_1$ ،  $I_2$  و  $I_3$  نمایش داد. در این صورت تصویر  $I$ ، تابعی از این سه متغیر تصادفی بوده و می‌توان نوشت:  $I = f(I_1, I_2, I_3)$  واضح است که مؤلفه‌های رنگی یک تصویر نمی‌توانند مستقل از هم باشند؛ لذا متغیرهای تصادفی  $I_1$ ،  $I_2$  و  $I_3$  وابسته خواهند بود. کوواریانس بین جفت متغیرهای تصادفی  $(I_1, I_2)$ ،  $(I_1, I_3)$  و  $(I_2, I_3)$  را به ترتیب به صورت  $\sigma_{I_1 I_2}$ ،  $\sigma_{I_1 I_3}$  و  $\sigma_{I_2 I_3}$  نمایش داده می‌شوند. این که تا چه حد دو متغیر تصادفی (سطوح تصویر رنگی) به یکدیگر وابسته هستند توسط ضریب همبستگی تعیین می‌گردد که طبق رابطه (۱۴) محاسبه می‌شود.

$$\rho = \frac{\sigma_{I_m I_n}}{\sigma_{I_m I_m} * \sigma_{I_n I_n}}, \quad m, n \in \{1, 2, 3\} \quad (۱۴)$$

که در آن،  $\sigma_{I_m I_n}$  کوواریانس بین متغیرهای تصادفی  $I_m$  و  $I_n$  (مؤلفه‌های تصویر رنگی)،  $\sigma_{I_m I_m}$  و  $\sigma_{I_n I_n}$  به ترتیب انحراف معیار متغیرهای تصادفی  $I_m$  و  $I_n$  می‌باشند که بر اساس روابط

نهان‌نگاری شده استفاده می‌شود و طبق رابطه (۱۸) تعریف می‌شود [۱۷].

$$PSNR = 20 \log_{10} \left( \frac{I_{max}}{\sqrt{MSN}} \right) \quad (18)$$

که در آن، مقدار  $I_{max}$  بزرگ‌ترین مقدار پیکسل در تصویر و  $MSE^T$  بیان‌گر مقدار میانگین مجذور خطا بین تصویر میزبان و تصویر نهان‌نگاری شده می‌باشد که از رابطه (۱۹) محاسبه می‌شود [۱۷].

$$MSE = \frac{1}{M*N} \sum_{m,n} (I_{m,n} - \hat{I}_{m,n})^2 \quad (19)$$

که در آن،  $I$  تصویر میزبان،  $I'$  تصویر نهان‌نگاری شده،  $M$  و  $N$  بیان‌گر ابعاد تصویر میزبان می‌باشند.

#### • معیار همبستگی متقابل نرمالیزه شده ( $NCC^T$ ):

این پارامتر به‌عنوان معیاری برای بررسی مقاومت نهان‌نگاره استخراج‌شده استفاده می‌شود و طبق رابطه (۲۰) تعریف می‌شود [۱۷].

$$NCC = \frac{\sum_{i=1}^{MW} \sum_{j=1}^{NW} (W(i,j) \cdot \hat{W}(i,j))}{\sqrt{\sum_{i=1}^{MW} \sum_{j=1}^{NW} (W(i,j))^2 \sum_{i=1}^{MW} \sum_{j=1}^{NW} (\hat{W}(i,j))^2}} \quad (20)$$

که در آن،  $W$  تصویر نهان‌نگاره و  $\hat{W}$  تصویر نهان‌نگاره استخراج‌شده می‌باشد.

#### ۴-۲- نتایج تجربی

به‌منظور بررسی عملکرد الگوریتم‌های پیشنهادی، شبیه‌سازی‌ها بر روی چهار تصویر Baboon, Peppers, Lenna و Sail به‌عنوان تصویر میزبان و دو تصویر باینری به‌عنوان نهان‌نگاره روش پیشنهادی اول و دو تصویر رنگی به‌عنوان نهان‌نگاره روش پیشنهادی دوم، انجام شده است. در جدول (۲) مقادیر PSNR و NCC برای دو تصویر Peppers و Lenna درج شده است.

بر اساس رابطه (۱۴) بین مؤلفه‌های رنگ در فضاهای رنگی RGB, YUV,  $YCbCr$  و  $YPbPr$  برای تصاویر مورد استفاده به‌عنوان تصویر میزبان، شامل تصاویر Baboon, Peppers, Lenna و Sail نمایش داده شده است. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود، ضریب همبستگی بین مؤلفه‌های رنگ در فضاهای رنگی  $YCbCr$ , YUV و  $YPbPr$  نسبت به فضای رنگی RGB کمتر است. همچنین مشاهده می‌شود فضای رنگی  $YPbPr$  نسبت به فضاهای رنگی YUV و  $YCbCr$ ، ضریب همبستگی کمتری میان مؤلفه‌های رنگ آن می‌باشد؛ بنابراین استفاده از این فضای رنگی برای جاسازی نهان‌نگاره باعث می‌شود تا مقاومت نهان‌نگاره افزایش یابد.

شکل‌های (۷- الف) و (۷- ج) نشان می‌دهند که همبستگی بین کانال‌های فضای رنگی RGB خیلی بیشتر از کانال‌های فضای رنگی  $YPbPr$  می‌باشد. بیت‌های نهان‌نگاره در فضای رنگی RGB درون مؤلفه B (در شکل به‌صورت نقطه‌نقطه نمایش داده شده است) و در فضای رنگی  $YPbPr$  درون مؤلفه  $P_b$  جاسازی شده است. در شکل‌های (۷- ب) و (۷- د)، موقعیت بیت‌های نهان‌نگاره را بعد از اعمال جمله به ترتیب بر روی شکل‌های (۷- الف) و (۷- ج) نمایش می‌دهند. همان‌طور که در شکل‌های (۷- ب) و (۷- د) مشاهده می‌شود، پراکندگی بیت‌های نهان‌نگاره بعد از اعمال جمله در فضای رنگی RGB نسبت به فضای رنگی  $YPbPr$  خیلی بیشتر است. دلیل این موضوع همبستگی بالای بین مؤلفه رنگ آبی (B) و دو مؤلفه رنگ دیگر (G و R) می‌باشد. لذا بعد از اعمال جمله، اطلاعات نهان‌نگاره در مؤلفه‌های فضای رنگی  $YPbPr$  بیشتر از فضای رنگی RGB محفوظ می‌ماند. به‌عبارت‌دیگر جاسازی نهان‌نگاره در این فضای رنگی مقاوم‌تر می‌باشد.

#### ۴-۳- نتایج شبیه‌سازی الگوریتم‌های پیشنهادی

##### ۴-۱- معیارهای ارزیابی

#### • معیار حداکثر نسبت سیگنال به نویز ( $PSNR^1$ ):

این پارامتر به‌عنوان یک معیار برای سنجش شفافیت تصویر

جدول (۱). میانگین مقادیر ضریب همبستگی بین مؤلفه‌های رنگ برای تصاویر Baboon, Peppers, Lenna و Sail در فضاهای رنگی مختلف

فضای رنگی ( $I_1 I_2 I_3$ )	همبستگی بین $I_2$ و $I_1$	همبستگی بین $I_3$ و $I_1$	همبستگی بین $I_3$ و $I_2$	مقادیر میانگین همبستگی برای هر فضای رنگی
RGB	۰/۶۱۴۰	۰/۴۶۶۶	۰/۱۸۶۴۳	۰/۶۴۸۳
YUV	-۰/۳۶۶۱	-۰/۱۴۷۶	-۰/۴۵۱۵	-۰/۳۲۱۷
$YCbCr$	-۰/۳۶۴۵	-۰/۱۴۷۶	-۰/۴۵۱۳	-۰/۳۲۱۱
$YPbPr$	-۰/۳۸۷۹	-۰/۲۴۸۸	-۰/۲۹۸۴	-۰/۳۱۱۷

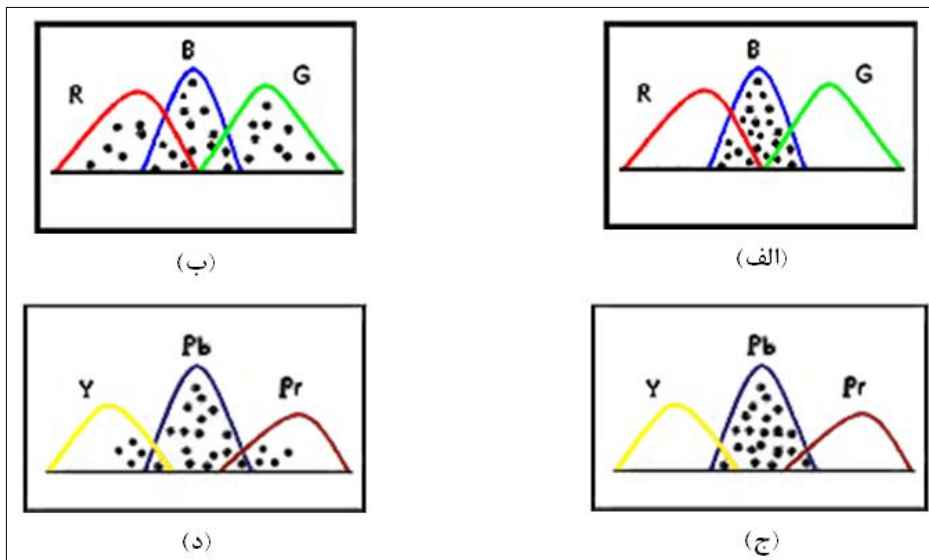
2- Mean Square Error (MSE)

3- Normalized Cross-Correlation (NCC)

1- Peak Signal to Noise Ratio (PSNR)



به منظور روشن تر شدن موضوع، به تشریح ساختارهای فضای رنگی  $Y P_b P_r$  و RGB قبل و بعد از اعمال حمله می پردازیم.



شکل (۷). مقایسه بین فضای رنگی  $Y P_b P_r$  و RGB (الف) جاسازی نهان نگاره در مؤلفه B قبل از اعمال حمله (ب) موقعیت بیت های نهان نگاره بعد از اعمال حمله در فضای RGB (ج) جاسازی نهان نگاره در مؤلفه  $P_b$  قبل از اعمال حمله (د) موقعیت بیت های نهان نگاره بعد از اعمال حمله در فضای  $Y P_b P_r$

جدول (۲). نتایج شبیه سازی الگوریتم های ارائه شده و محاسبه مقادیر PSNR و NCC برای تصویر Peppers و Lenna

روش	تصویر اصلی	نهان نگاره ۱	تصویر نهان نگاری شده	نهان نگاره استخراج شده	نهان نگاره ۲	تصویر نهان نگاری شده	نهان نگاره استخراج شده
روش اول							
	۵۱۲×۵۱۲×۳	۶۴×۶۴	PSNR=۵۶/۵۹	NCC=۱	۶۴×۶۴	PSNR=۵۷/۱۱	NCC=۱
روش دوم							
	۵۱۲×۵۱۲×۳	۶۴×۶۴×۳	PSNR=۵۴/۱۹	NCC=۱	۶۴×۶۴×۳	PSNR=۵۰/۲۴	NCC=۰/۹۹۹
	۵۱۲×۵۱۲×۳	۶۴×۶۴×۳	PSNR=۵۹/۸۲	NCC=۱	۶۴×۶۴×۳	PSNR=۵۰/۲۹	NCC=۰/۹۹۹

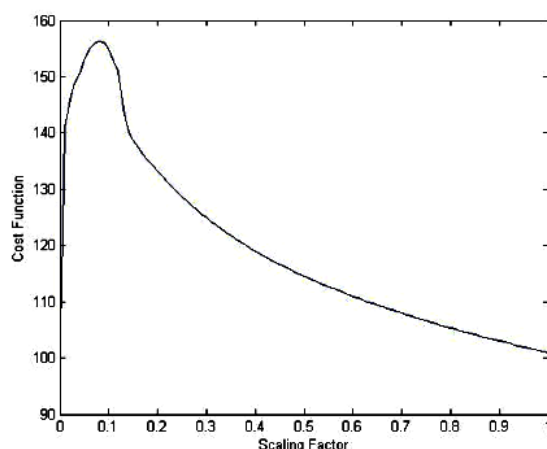
الگوریتم ارائه شده قبل از اعمال حمله های مختلف در حد مناسب و قابل قبولی می باشد. همان طور که در بخش قبل ذکر شد، انتخاب مناسب ضریب مقیاس باعث می شود تا توازن میان شفافیت و مقاومت تصویر ایجاد شود. بر اساس رابطه (۱۳) و طبق نموداری که از این رابطه برای تابع شایستگی به دست

همچنین در این جدول نهان نگاره ۱ و نهان نگاره ۲ برای هر دو روش پیشنهادی نمایش داده شده است. تصویر رنگی میزبان با اندازه ۵۱۲ در ۵۱۲ پیکسل و تصویر نهان نگاره با اندازه ۶۴ در ۶۴ پیکسل می باشد که تمام اطلاعات آن درون تصویر میزبان درج می شود. طبق جدول (۲) مشخص است که شفافیت تصویر در

بهرتر این مطلب در جدول (۳) مقادیر PSNR و NCC برای چند ضریب مقیاس مختلف برای تصویر Lenna در روش پیشنهادی اول و دوم مورد مقایسه قرار گرفته‌اند.

ضریب مقیاس در الگوریتم پیشنهادی اول برابر با ۰/۰۸۵ و برای روش پیشنهادی دوم برابر با ۰/۳۵ (بر اساس رابطه (۱۳)) به دست آمده است. در جدول (۴) مقادیر PSNR و NCC حاصل از شبیه‌سازی روش‌های پیشنهادی برای ۴ تصویر مختلف میزبان (Lenna, Peppers, Baboon و Sail) ارائه شده است.

می‌آید می‌توانیم ضریب مقیاس مناسب را انتخاب کنیم. در شکل (۸) نمودار تابع شایستگی برای ضرایب مقیاس بین صفر و یک با دقت ۰/۰۱ برای تصویر Lenna جهت روش پیشنهادی اول نمایش داده می‌شود. زمانی که این تابع بیشینه می‌شود یعنی نسبت به یک ضریب مقیاس مشخص، شفافیت و مقاومت تصویر بیشینه شده است؛ آن ضریب مشخص به‌عنوان ضریب مقیاس بهینه انتخاب می‌شود. بر همین اساس می‌توان گفت ضریب مقیاس ۰/۰۸۵ برای روش پیشنهادی اول انتخاب مناسبی است زیرا در این نقطه تابع شایستگی بیشینه شده است. برای درک



شکل (۸). نمودار تابع شایستگی برای تمام مقادیر ضریب مقیاس با دقت ۰/۰۱ برای تصویر Lenna در روش پیشنهادی اول

جدول (۳). مقادیر PSNR و NCC برای چندین ضریب مقیاس مختلف برای تصویر Lenna

روش دوم					روش اول					ضریب مقیاس $\alpha$	
۰/۷	۰/۵	۰/۳۵	۰/۱	۰/۰۱	۰/۵	۰/۱	۰/۰۸۵	۰/۰۵	۰/۰۱	PSNR	نهان‌نگاره
۴۲/۳۸	۵۰/۵۷	۵۴/۱۹	۶۴/۵	۸۰/۲۷	۳۷/۶۱	۵۳/۳۷	۵۶/۵۹	۶۵/۹۲	۸۳/۵۳		
۱	۱	۱	۱	۰/۹۸۰	۱	۱	۱	۰/۹۹۱	۰/۸۲۵		
۳۸/۵۱	۴۵/۹۳	۵۰/۲۴	۵۹/۸۶	۷۳/۰۱	۳۷/۳۵	۵۱/۹۸	۵۷/۱۱	۶۱/۲۸	۸۰/۰۲	PSNR	نهان‌نگاره
۱	۱	۰/۹۹۹	۰/۸۶۲	۰/۶۹۵	۱	۱	۱	۱	۰/۸۹۹		

جدول (۴). مقادیر PSNR (برحسب dB) و NCC برای تصاویر Sail و Baboon, Peppers, Lenna

تصویر میزبان				روش اول			روش دوم		
Sail	Baboon	Peppers	Lenna	PSNR	نهان‌نگاره	PSNR	نهان‌نگاره	PSNR	نهان‌نگاره
۵۸/۴۸	۵۸/۷۱	۵۸/۵۳	۵۶/۵۹	۱	۱	۵۷/۰۰	۵۷/۲۳	۵۷/۰۵	۵۷/۱۱
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
۵۵/۸۸	۵۶/۰۳	۵۷/۸۲	۵۴/۱۹	۱	۱	۵۰/۳۰	۵۰/۳۹	۵۰/۲۹	۵۰/۲۴
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹

جدول روش پیشنهادی با روش‌های استفاده شده در [۷-۱۱] و [۱۸] مقایسه شده تا الگوریتم پیشنهادی مورد ارزیابی قرار گیرد. تمام روش‌های استفاده شده در [۷-۱۱] و [۱۸] شبیه‌سازی شده و سپس با روش‌های پیشنهادی مقایسه شده است. در این جدول، در هر دو روش ارائه‌شده تصویر Lenna به‌عنوان تصویر میزبان و نهان‌نگاره ۱ به‌عنوان نهان‌نگاره اصلی در نظر گرفته شده است که از نظر مقاومت با روش‌های دیگر مورد مقایسه قرار گرفته است.

بر اساس نتایج ذکر شده در جدول (۷)، مشاهده می‌شود که روش‌های پیشنهادی در مقابل حمله‌های مختلف از مقاومت بالایی برخوردارند. این مقاومت بالا و درعین‌حال حفظ شفافیت تصویر نهان‌نگاره شده، به دلیل الگوریتم جدید طراحی شده و جاسازی نهان‌نگاره در فضای رنگی  $Y_P, P_r$  می‌باشد. همان‌طور که در بخش (۳-۳) اثبات گردید، ویژگی مهم این فضای رنگی همبستگی بسیار کم بین مؤلفه‌های رنگی آن می‌باشد که باعث افزایش مقاومت نهان‌نگاره در برابر حمله‌های مختلف می‌گردد. از طرف دیگر با انتخاب مناسب ضریب مقیاس ( $\alpha$ ) در تابع شایستگی که بر اساس رابطه (۱۳) به‌دست آمده است، تعادل بین دو ویژگی شفافیت و مقاومت برقرار شده و این امر سبب حفظ شفافیت به‌موازات افزایش مقاومت نهان‌نگاره شده است.

به‌منظور ارزیابی دقیق‌تر الگوریتم پیشنهادی، حمله‌های گوناگونی بر روی چهار تصویر مختلف میزبان اعمال گردید. سپس تصویر نهان‌نگاره استخراج و مقادیر NCC مربوطه محاسبه گردید. این ارزیابی بر روی تصاویر Lenna, Peppers, Baboon و Sail انجام شده و نتایج آن در شکل (۹) نشان داده شده است. در این شکل، مقایسه برای چهار حالت مختلف شامل روش اول با نهان‌نگاره ۱، روش اول با نهان‌نگاره ۲، روش دوم با نهان‌نگاره ۱ و روش دوم با نهان‌نگاره ۲ انجام شده است.

اکنون به بررسی الگوریتم‌های پیشنهادی بعد از اعمال حمله‌های مختلف بر روی تصویر پرداخته و با محاسبه NCC بعد از استخراج نهان‌نگاره به ارزیابی این روش‌ها می‌پردازیم. نتایج به‌دست آمده از این آزمایش‌ها، در جدول (۵) آمده است.

همان‌طور که در جدول (۵) مشخص است، بعد از اعمال حمله، شفافیت تصویر نهان‌نگاری شده در حد قابل قبولی حفظ شده و از طرفی در اکثر موارد، تصویر نهان‌نگاره باکیفیت نسبتاً خوب استخراج شده است که این نشان‌دهنده‌ی مقاومت بالای روش پیشنهادی در برابر حمله‌های مختلف می‌باشد. دلیل این موضوع همبستگی کم بین مؤلفه‌های رنگ در فضای  $Y_P, P_r$  می‌باشد که در این مقاله از آن استفاده شده است.

در جدول (۶) حوزه مورد استفاده برای جاسازی نهان‌نگاره، فضای رنگی، PSNR، NCC، اندازه تصویر میزبان و اندازه نهان‌نگاره برای روش‌های پیشنهادی و روش‌های مرجع نمایش داده شده است. روش‌های ارائه‌شده در [۸، ۹، ۱۱ و ۱۸] به‌عنوان روش‌های مرجع، شبیه‌سازی نموده و با روش‌های پیشنهادی مقایسه شده است. در این جدول، در هر دو روش ارائه‌شده، تصویر Lenna به‌عنوان تصویر میزبان و تصویر نهان‌نگاره ۱ به‌عنوان نهان‌نگاره اصلی مورد بررسی قرار می‌گیرد. همچنین مقادیر PSNR و NCC نیز بدون در نظر گرفتن حمله می‌باشد. همان‌طور که از جدول (۶) مشخص است، NCC در دو روش پیشنهادی نسبت به روش‌های [۸، ۱۱ و ۱۸] بهتر شده است و PSNR در روش پیشنهادی اول نسبت به دو روش [۸-۹] به ترتیب ۴/۶ dB و ۱۶/۴ dB بهبود یافته است و در روش پیشنهادی دوم مقدار PSNR نسبت به روش‌های [۱۱] و [۱۸] به ترتیب ۰/۹۵ dB و ۲۱ dB بهبود یافته است.

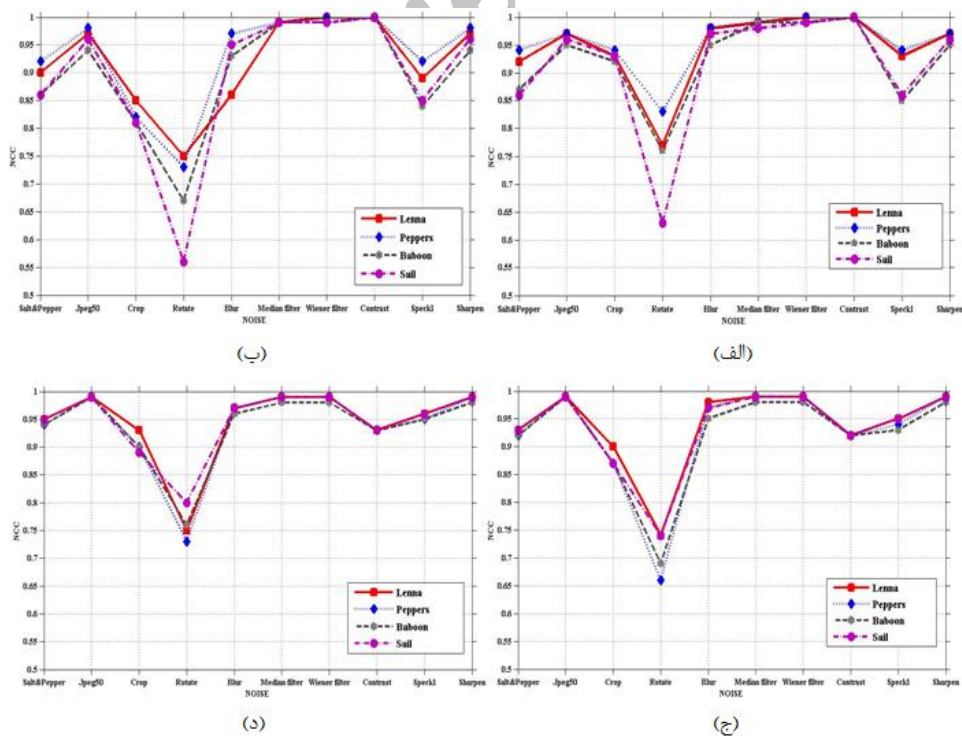
مقادیر مختلف NCC بعد از اعمال حمله‌های مختلف برای روش‌های پیشنهادی در جدول (۷) نشان داده شده است. در این

جدول (۶). مقایسه روش پیشنهادی با روش‌های دیگر از نظر حوزه، فضای رنگی، اندازه، PSNR و NCC برای تصویر Lenna

روش	حوزه تبدیل	فضای رنگی (مؤلفه مورد استفاده)	اندازه تصویر میزبان	اندازه نهان‌نگاره	PSNR	NCC	روش	
							روش اول	روش دوم
روش پیشنهادی	FWHT	$Y_P, P_r (P_b)$	$512 \times 512 \times 3$	$64 \times 64$	۵۶/۵۹	۱	روش اول	روش پیشنهادی
	FWHT	$Y_P, P_r (Y, P_b, P_r)$	$512 \times 512 \times 3$	$64 \times 64 \times 3$	۵۴/۱۹	۱	روش دوم	
Roy [۸]	DWT	$Y_C, C_r (C_b)$	$1024 \times 1024 \times 3$	$64 \times 64$	۵۱/۹۵	۰/۹۹		
Saboori [۹]	DCT-PCA	YUV(Y)	$512 \times 512 \times 3$	$64 \times 64$	۴۰/۱۸	۱		
Saha [۱۱]	DCT	RGB(R,G,B)	$512 \times 512 \times 3$	$64 \times 64 \times 3$	۵۳/۲۵	۰/۹۹		
George [۱۹]	SVD-DWT	RGB(B)	$512 \times 512 \times 3$	$64 \times 64 \times 3$	۳۳/۲۰	۰/۹۹		

جدول (۷). مقایسه NCC روش پیشنهادی با روش‌های دیگر با اعمال حمله‌های مختلف برای تصویر Lenna







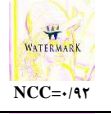







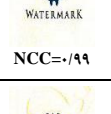

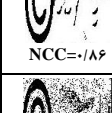

NCC						روش پیشنهادی		حمله
George [۱۸]	Saha [۱۱]	Hosseini [۱۰]	Saboori [۹]	Roy [۸]	Yin [۷]	روش اول	روش دوم	
۰/۹۹	۰/۹۹	۱	۱	۰/۹۹	۰/۹۹	۱	۱	بدون حمله
۰/۹۰	۰/۶۲	۰/۷۹	۰/۷۷	۰/۹۰	۰/۸۹	۰/۹۴	۰/۹۰	نمک و فلفل ۰/۱
۰/۹۵	۰/۷۰	۰/۸۱	۰/۸۱	۰/۹۳	۰/۹۱	۰/۹۹	۰/۹۷	نمک و فلفل ۰/۰۱
۰/۹۸	۰/۹۱	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۷	۱	۰/۹۸	JPEG (Q=۶۰)
۰/۸۹	۰/۸۷	۰/۹۵	۰/۹۵	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۹۹	۰/۹۷	JPEG (Q=۵۰)
۰/۸۶	۰/۸۵	۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۸۸	۰/۸۸	۰/۹۰	۰/۸۹	JPEG (Q=۳۰)
۰/۸۲	۰/۸۰	۰/۷۷	۰/۷۸	۰/۸۵	۰/۸۴	۰/۸۸	۰/۸۷	JPEG (Q=۲۰)
۰/۸۵	۰/۷۹	۰/۸۴	۰/۸۴	۰/۸۵	۰/۸۴	۰/۹۲	۰/۸۵	برش ۲۰٪
۰/۹۰	۰/۸۸	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۹۲	۱	کنتراست ۵۰٪
۰/۷۴	۰/۶۹	۰/۲۰	۰/۳۵	۰/۷۲	۰/۷۵	۰/۷۶	۰/۷۵	چرخش ۲۰°
۰/۷۷	۰/۷۳	۰/۳۱	۰/۵۹	۰/۷۵	۰/۷۷	۰/۸۴	۰/۷۹	چرخش ۵°
۰/۹۱	۰/۹۰	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۹۲	۰/۹۰	۰/۹۹	۰/۹۹	فیلتر میانه
۰/۹۱	۰/۹۱	۱	۱	۰/۹۹	۰/۷۴	۰/۹۹	۱	فیلتر گوسین
۰/۹۱	۰/۸۹	۰/۸۵	۰/۸۵	۰/۹۰	۰/۸۷	۰/۹۹	۱	فیلتر میانگین
۰/۹۱	۰/۹۲	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۱	۰/۹۹	۱	فیلتر وینر
۰/۸۷	۰/۸۳	۰/۸۰	۰/۸۱	۰/۸۸	۰/۸۵	۰/۹۵	۰/۸۹	نویز ضربه‌ای ۰/۱



شکل (۹). مقایسه NCC بر روی چهار تصویر میزبان با اعمال حمله‌های مختلف (الف) روش اول - نهان نگاره ۱، (ب) روش اول - نهان نگاره ۲، (ج) روش دوم - نهان نگاره ۱، (د) روش دوم - نهان نگاره ۲



جدول (۵). نتایج شبیه سازی الگوریتم های پیشنهادی بعد از اعمال حمله های مختلف برای تصویر Lenna

روش دوم				روش اول				حمله
نهان نگاره ۲		نهان نگاره ۱		نهان نگاره ۲		نهان نگاره ۱		
نهان نگاره استخراج شده	تصویر نهان نگاری شده	نهان نگاره استخراج شده	تصویر نهان نگاری شده	نهان نگاره استخراج شده	تصویر نهان نگاری شده	نهان نگاره استخراج شده	تصویر نهان نگاری شده	
								نویز نمک و فلفل <sup>۱</sup> ۰/۱
NCC=۰/۹۲	PSNR=۱۵/۳۱	NCC=۰/۹۴	PSNR=۱۵/۱۷	NCC=۰/۸۹	PSNR=۲۱/۳۷	NCC=۰/۹۰	PSNR=۲۴/۲۰	
								فشرده سازی JPEG (Q=۵۰) <sup>۲</sup>
NCC=۰/۹۹	PSNR=۲۰/۹۹	NCC=۰/۹۹	PSNR=۳۱/۹۵	NCC=۰/۹۶	PSNR=۴۵/۷۴	NCC=۰/۹۷	PSNR=۴۳/۵۹	
								برش <sup>۳</sup>
NCC=۰/۹۰	PSNR=۱۴/۱۷	NCC=۰/۹۲	PSNR=۱۳/۵۱	NCC=۰/۹۱	PSNR=۲۰/۶۹	NCC=۰/۸۵	PSNR=۲۰/۹۶	
								کنتراست ۵۰٪ <sup>۴</sup>
NCC=۰/۹۱	PSNR=۵/۷۹	NCC=۰/۹۲	PSNR=۵/۸۸	NCC=۰/۹۹	PSNR=۱۰/۷۵	NCC=۱	PSNR=۱۰/۷۲	
								چرخش ۲۰° <sup>۵</sup>
NCC=۰/۷۲	PSNR=۸/۸۰	NCC=۰/۷۶	PSNR=۸/۱۶	NCC=۰/۷۵	PSNR=۱۳/۱۸	NCC=۰/۷۵	PSNR=۱۳/۱۲	
								فیلتر میانه <sup>۶</sup>
NCC=۰/۹۹	PSNR=۲۴/۴۶	NCC=۰/۹۹	PSNR=۳۳/۷۱	NCC=۰/۹۸	PSNR=۴۹/۲۰	NCC=۰/۹۹	PSNR=۴۸/۶۳	
								فیلتر گوسین <sup>۷</sup>
NCC=۰/۹۹	PSNR=۲۹/۹۷	NCC=۰/۹۹	PSNR=۲۹/۴۱	NCC=۰/۹۹	PSNR=۴۸/۰/۱	NCC=۱	PSNR=۴۷/۰/۷	
								فیلتر میانگین <sup>۸</sup>
NCC=۰/۹۹	PSNR=۲۱/۲۸	NCC=۰/۹۹	PSNR=۳۰/۹۶	NCC=۰/۹۸	PSNR=۴۷/۲۳	NCC=۱	PSNR=۴۸/۲۷	
								فیلتر وینر <sup>۹</sup>
NCC=۰/۹۹	PSNR=۲۱/۹۸	NCC=۰/۹۹	PSNR=۳۳/۵۸	NCC=۰/۹۹	PSNR=۴۵/۶۹	NCC=۱	PSNR=۴۵/۵۰	
								تار شدن <sup>۱۰</sup> (lens=۲۳) (theta=۴۸)
NCC=۰/۸۷	PSNR=۲۳/۳۸	NCC=۰/۹۸	PSNR=۲۴/۱۶	NCC=۰/۸۷	PSNR=۳۵/۹۱	NCC=۰/۸۶	PSNR=۲۶/۳۴	
								نویز لکمی <sup>۱۱</sup> ۰/۱
NCC=۰/۹۴	PSNR=۱۷/۱۴	NCC=۰/۹۵	PSNR=۱۶/۰/۲	NCC=۰/۸۱	PSNR=۳۵/۷۵	NCC=۰/۸۹	PSNR=۳۵/۴۹	

- 1- Salt & Pepper
- 2- Compression
- 3- Crop
- 4- Contrast
- 5- Rotate
- 6- Median Filter
- 7- Gaussian Filter
- 8- Average Filter
- 9- Wiener Filter
- 10- Blur
- 11- Speckle Noise

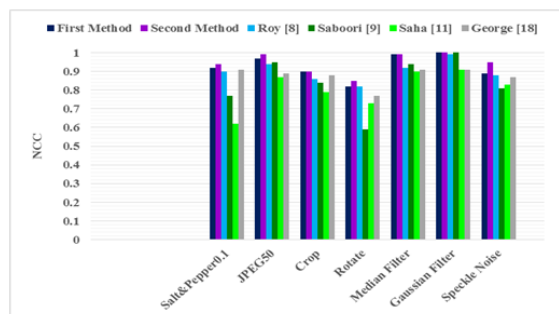
رنگی انتخاب شده است که در این روش مؤلفه‌های  $P_r$  و  $P_b$ ،  $Y$  تصویر نهان‌نگاره به ترتیب در مؤلفه‌های  $P_r$  و  $P_b$ ،  $Y$  تصویر میزبان جاسازی شده‌اند. با انتخاب مناسب ضریب مقیاس در تابع شایستگی در الگوریتم پیشنهادی، توازن بین دو ویژگی شفافیت و مقاومت ایجاد شده که باعث حفظ شفافیت تصویر نهان‌نگاری شده گردیده است. مقاومت بالا در روش پیشنهادی به دلیل همبستگی کم بین سه مؤلفه‌های رنگ در فضای رنگی  $Y P_b P_r$  و سرعت بخشیدن به محاسبات به دلیل استفاده از حوزه تبدیل FWHT از مزایای روش پیشنهادی می‌باشد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد که الگوریتم ارائه‌شده در برابر حمله‌های مختلف، با حفظ شفافیت تصویر نهان‌نگاری شده در حد قابل قبول، بهبود قابل توجهی در مقاومت نهان‌نگاره نسبت به روش‌های مرجع دارد.

#### ۶- مراجع

- [1] B. Kaur et al., "Steganographic approach for hiding image in DCT domain," International Journal of Advances in Engineering & Technology, vol. 1, pp. 72-78, 2011.
- [2] I. Cox et al., "Digital watermarking," Journal of Electronic Imaging, vol. 11, p. 414, 2002.
- [3] T. Areef, H. S. Heniedy, and O. M. Mansour, "Optimal transform domain watermark embedding via genetic algorithms," International Conference on Information and Communication Technology, pp. 607-617, 2005.
- [4] T. Shono, M. Muneyasu, and K. Nakanishi, "A method for data embedding to printed images based on use of original images," International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communications Systems, ISPCS, pp. 1-4, 2009.
- [5] S. Parvathavarthini and R. Shanthakumari, "An Adaptive Watermarking Process in Hadamard Transform," International Journal of Advanced Information Technology, vol. 4, 2014.
- [6] M. Kutter, F. Jordan, and F. Bossen, "Digital signature of color images using amplitude modulation," Electronic Imaging, pp. 518-526, 1997.
- [7] C. Q. Yin, L. Li, A. Q. Lv, and L. Qu, "Color image watermarking algorithm based on DWT-SVD," IEEE International Conference on Automation and Logistics, pp. 2607-2611, 2007.
- [8] A. Roy, A. K. Maiti, and K. Ghosh, "A perception based color image adaptive watermarking scheme in YCbCr space," 2nd International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN), Noida, pp. 537-543, 2015.
- [9] A. Saboori and S. A. Hosseini, "Color image watermarking in YUV color space based on combination of DCT and PCA," 23rd Iranian Conference on Electrical Engineering, pp. 308-313, 2015.
- [10] S. Abolfazl Hosseini and A. Saboori, "A new method for color image watermarking based on combination of DCT and PCA," International Conference on Communications, Signal Processing, and their Applications (ICCSA), Sharjah, pp. 1-5, 2015.

شکل‌های (۹-الف) و (۹-ب) نتایج مربوط به مقاومت روش پیشنهادی اول را بعد از اعمال حمله‌های مختلف بر روی چهار تصویر میزبان را نمایش می‌دهند. همان‌طور که در این دو شکل مشاهده می‌شود بعد از اعمال حمله‌های مختلف بر روی چهار تصویر میزبان، مقاومت این تصاویر در برابر حمله‌هایی همچون نویز چرخشی، نمک و فلفل و نویز ضربه‌ای نسبت به یکدیگر متفاوت است؛ اما در دیگر حمله‌ها اختلاف مقاومت بین این تصاویر خیلی کم و حتی در حمله‌های JPEG و کنتراست به صفر رسیده است. در شکل‌های (۹-ج) و (۹-د) نتایج مربوط به مقاومت روش پیشنهادی دوم بعد از اعمال حمله‌های مختلف بر روی چهار تصویر میزبان نمایش داده شده است. مشاهده می‌شود که در این شکل‌ها نسبت به شکل‌های (۹-الف) و (۹-ب)، مقاومت چهار تصویر میزبان در برابر حمله‌های مختلف اختلاف کمی نسبت به یکدیگر دارند. پس می‌توان نتیجه گرفت که روش دوم نسبت به روش اول از ثبات بیشتری برخوردار بوده و در آن نتایج برای تصاویر مختلف میزبان تقریباً یکسان است.

مقایسه‌ای بین NCC دو روش پیشنهادشده با روش‌های استفاده شده در [۸، ۹، ۱۱ و ۱۸] با در نظر گرفتن حمله‌های مختلف، برای تصویر Baboon و نهان‌نگاره ۱ انجام شده و در شکل (۱۰) نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشخص است، روش ارائه‌شده نسبت به روش‌های دیگر در برابر حمله‌ها عملکرد بهتری دارد.



شکل (۱۰). مقایسه NCC بین دو روش پیشنهادشده و روش‌های دیگر برای تصویر Baboon

#### ۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله، دو روش جدید در حوزه نهان‌نگاری تصاویر رنگی برای بالا بردن مقاومت نهان‌نگاره با حفظ شفافیت تصویر ارائه گردید. در هر دو روش از فضای رنگی  $Y P_b P_r$  و حوزه FWHT برای جاسازی نهان‌نگاره استفاده گردید. در روش اول تصویر میزبان رنگی و تصویر نهان‌نگاره، باینری انتخاب شده است که برای جاسازی نهان‌نگاره در این روش از مؤلفه  $P_b$  استفاده گردید. در روش دوم تصویر میزبان و تصویر نهان‌نگاره هر دو

- [15] J. Fridrich and M. Goljan, "Comparing robustness of watermarking techniques", *Electronic Imaging*, pp. 214-225, 1999.
- [16] C. Hirsch, "Numerical Computation of Internal and External Flows, Volume1: Fundamentals of Computational Fluid Dynamics", *Second edition*. Butterworth-Heinemann, 2007.
- [17] B. L. Gunjal and S. N. Mali, "Comparative performance analysis of digital image watermarking scheme in DWT and DWT-FWHT-SVD domains", The 11<sup>th</sup> *IEEE India Conference (INDICON)*, 2014.
- [18] J. George, S. Varma, and M. Chatterjee, "Color image watermarking using DWT-SVD and Arnold transform", The 11<sup>th</sup> *IEEE India Conference (INDICON)*, pp. 1-6, 2014.
- [11] B. J. Saha, K. K. Kabi, A. Chauhan, and C. Pradhan, "A robust digital watermarking algorithm using DES and ECC in DCT domain for color images," International Conference on Circuit, Power and Computing Technologies (ICCPCT), Nagercoil, pp. 1378-1385, 2014.
- [12] J. M. Chaves-González, M. A. Vega-Rodríguez, J. A. Gómez-Pulido, and J. M. Sánchez-Pérez, "Detecting skin in face recognition systems: A colour spaces study," *Digital Signal Processing*, vol. 20, pp. 806-823, 2010.
- [13] A. Marjuni, R. Logeswaran, and M. Ahmad Fauzi, "An image watermarking scheme based on FWHT-DCT," International Conference on Networking and Information Technology, pp. 289-293, 2010.
- [14] G. Bhatnagar and B. Raman, "Robust watermarking in multiresolution walsh-hadamard transform," *IEEE International Advance Computing Conference (IACC)*, pp. 894-899, 2009.

Archive of SID

## A New Method in Color Images Watermarking based on $Y P_b P_r$ Color Space in FWHT Domain

M. Zolanvar, H. Ghanei Yakhdan, A. M. Latif\*

\*Yazd University

(Received: 25/11/2015, Accepted: 31/10/2016)

### ABSTRACT

*Watermarking systems have different features where the two opposite ones named transparency and robustness are the most important ones. In this paper, two new methods for the watermark embedding have been presented based on color images watermarking in FWHT domain and  $Y P_b P_r$  color space. The first method is proposed to embed binary watermark in the host color image where the watermark is embedded in the  $P_b$  color component. The second method is proposed to embed color watermarks in the host color image. In this method, the  $Y$ ,  $P_b$  and  $P_r$  components of watermark image are embedded respectively in  $Y$ ,  $P_b$  and  $P_r$  components of the host image. This method has suitable transparency and robustness. The simulation results show that the PSNR and NCC values have increased about 10.74 dB and 0.05 compared to the methods used in [7-11] and [18].*

**Keywords:** Color Images Watermarking,  $Y P_b P_r$ , Walsh-Hadamard, Robustness, Transparency

---

\* Corresponding Author Email: [alatif@yazd.ac.ir](mailto:alatif@yazd.ac.ir)