هفتمین کنفرانس بین المللی انجمن رمز ایران

۲۴ و ۲۵ شهریورماه ۱۳۸۹، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

!

انجمن رمزایران

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

رمزنگاری تصاویر RGB با استفاده از تابع آشوب Logistic Map و عملگرهای برش و جهش

سهیل فاطری[۱]، رسول عنایتی فر[۲]، محمد تشنه لب[۳]

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بابل[۱]

fateri@gmail.com

دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزکوه[۲]

r.enayatifar@iaufb.ac.ir

دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی[۳]

teshnehlab@eetd.kntu.ac.ir

چکیده

در این مقاله یک روش جدید برای رمزنگاری تصویر با استفاده از سیگنال های آشوب و عملگرهای ژنتیکی پیشنهاد شده است. در این روش از عملگرهای ژنتیکی برای پیچیده‌تر شدن الگوریتم رمزنگاری، افزایش امنیت الگوریتم رمزنگاری و تغییر مقدار سطح خاکستری هر پیکسل از تصویر اصلی استفاده می‌شود. نتایج تجربی نشان می‌دهد که روش پیشنهادی مقاومت بالایی در برابر حملات متداول از خود نشان می‌دهد. همچنین مقدار آنتروپی به دست آمده در این روش ۷,۹۹۱۳ است که به مقدار ایده آل، یعنی ۸، بسیار نزدیک است.

واژه‌های کلیدی

پنهان سازی تصویر، سیگنال آشوب، عملگرهای ژنتیکی، آنتروپی.

۱- مقدمه !

با رشد سریع تولیدات چند رسانه‌ای و پخش گسترده محصولات دیجیتالی بر روی اینترنت محافظت از اطلاعات دیجیتالی در برابر کپی و توزیع غیر مجاز هر روز اهمیت بیشتری پیدا می کند. برای رسیدن به این هدف الگوریتم‌های گوناگونی برای پنهانی کردن تصویر[۱] پیشنهاد شده است[4-1]. اخیرا با توجه به توسعه زیاد استفاده از سیگنالهای آشوب برای کاربردهای مختلف، بسیاری از محققین بر روی استفاده از این سیگنال‌ها برای پنهانی کردن تصویر متمرکز شده‌اند[9-5]. از مهمترین مزیتهای سیگنال‌های آشوب می‌توان به حساسیت زیاد این سیگنالها به شرایط اولیه و همچنین رفتار نویز گونه (شبیه به نویز) این سیگنالها در عین قطعی بودن اشاره کرد. در [5] یک روش برای پنهانی کردن تصویر با استفاده از جابجائی پیکسل‌ها در حوزه مکان پیشنهاد شده است. در [6] نیز یک الگوریتم مبتنی بر کلید برای پنهانی کردن تصویر (CKBA[2]) پیشنهاد شده است که در این روش از یک سیگنال آشوب برای تغییر مقدار سطح خاکستری پیکسلها استفاده شده است، تحقیقات بعدی نشان داد که این روش (استفاده از سیگنال آشوب) به تنهایی دارای امنیت مناسبی نمی‌باشد [7].

[1] Image Encryption

[2] Chaotic key-based Image Encryption

در این مقاله یک الگوریتم جدید برای پنهانی کردن تصویر با استفاده از سیگنال آشوب و عملگرهای ژنیتیکی[1] برای پیچیده تر شدن الگوریتم رمزنگاری و افزایش امنیت الگوریتم رمزنگاری پیشنهاد شده است. در این روش از عملگرهای ژنتیکی برش[2] و جهش[3] برای تغییر سطح خاکستری هر پیکسل تصویر و از تابع آشوب برای ۳ عمل استفاده می شود: الف) انتخاب دو پیکسل از تصویر برای اعمال عملگرهای ژنیتیکی. ب) تعیین تعدادی بیت در پیکسل های انتخاب شده، جهت عمل برش. ج) تعیین بیتی از پیکسل، جهت عمل جهش.

در ادامه مقاله ابتدا توضیح مختصری در مورد توابع آشوب آمده است، سپس به شرح روش پیشنهادی پرداخته خواهدشد و در پایان در بخش نتایج تجربی، کارایی این روش با استفاده از تصاویر مختلف و از نظر مقاومت در برابر حملات مختلف مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت.

۲- سیگنال های آشوب

سیگنال آشوب ظاهری شبیه به نویز دارد ولی در عین حال کاملا قطعی است. یعنی با داشتن مقادیر اولیه و تابع نگاشت می‌توان دقیقا مقادیر سیگنال را دوباره تولید کرد. برخی مزایای این سیگنال عبارتند از:

الف) حساسیت نسبت به شرایط اولیه: سیگنال آشوب به شرایط اولیه بسیار حساس است به گونه‌ای که هر تغییر جزیی در مقادیر اولیه، اختلاف فاحشی در مقادیر بعدی تابع ایجاد خواهد نمود. لذا اگر مقادیر اولیه سیگنال اندکی تغییر کنند، سیگنال حاصل تفاوت بسیار زیادی با سیگنال اولیه خواهد داشت.

ب) رفتار ظاهرا تصادفی: در قیاس با تولید کننده‌های اعداد تصادفی طبیعی که در آنها، رشتهٔ اعداد تصادفی تولید شده را نمی‌توان باز تولید نمود، روشهای مورد استفاده برای تولید اعداد تصادفی در الگوریتم های بر مبنای توابع آشوب، این امکان را به ما می‌دهند که در صورت داشتن مقدار اولیه و تابع نگاشت، همان اعداد تصادفی را باز تولید نمود.

ج) عملکرد قطعی: توابع آشوب در عین اینکه ظاهری تصادفی دارند اما کاملا قطعی هستند. یعنی همواره با داشتن تابع نگاشت و مقادیر اولیه می‌توان یک مجموعه از مقادیر را که به ظاهر هیچ نظم ظاهری در آنها وجود ندارد را تولید و دوباره به همان مقادیر دست یافت.

رابطه ۱، یکی از معروفترین سیگنالهایی که رفتار آشوب گونه دارد و به سیگنال Logistic Map معروف است را نشان می دهد.

$$X_{n+1} = rX_n\left(1-X_n\right) \qquad (1)$$

در این فرمول X_n مقداری در بازه $[0,1]$ را می‌پذیرد این سیگنال با توجه به تقسیم شدن پارامتر r در سه بازه مختلف، سه رفتار مختلف از خود نشان می‌دهد که رفتار این سیگنال با فرض $X_0 = 0.3$ به صورت زیر قابل بررسی است:

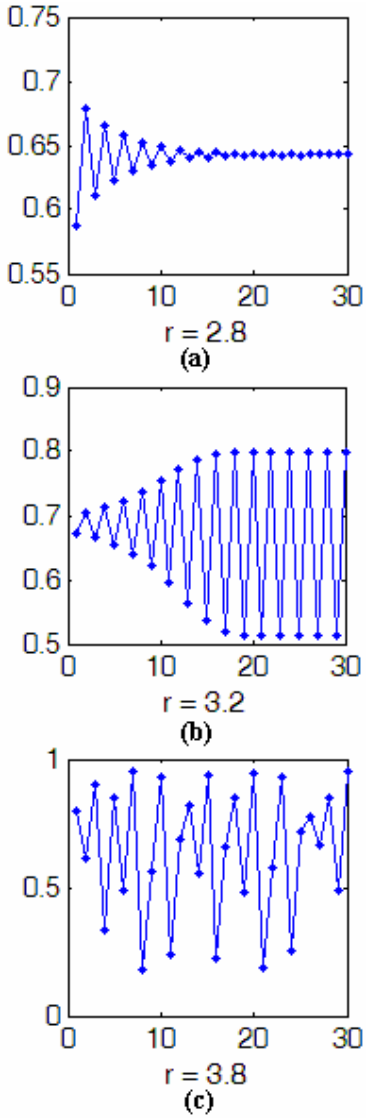
۱) اگر $r \in [0,3]$، آنگاه رفتار سیگنال در ۱۰ تکرار اول تا حدی آشوبگونه و بعد از تکرار دهم به ثبات می رسد (شکل۱.a).

۲) اگر $r \in [3,3.57]$، آنگاه رفتار سیگنال در ۲۰ تکرار اول تا حدودی آشوبگونه و بعد از تکرار بیستم، بین دو مقدار ثبات تغییر نوسان می‌کند. (شکل۱.b).

۳) اگر $r \in [3.57,4]$، آنگاه رفتار سیگنال یه طور کلی آشوبگونه می باشد (شکل۱.c).

با توجه توضیحات بیان شده و با توجه به نیاز مقاله به رفتار کاملا آشوبگونه برای پنهانی سازی، از سیگنال آشوبگونه Logistic map با مقادیر اولیه $X_0 = 0.3$ و $r \in [3.57,4]$ استفاده شده‌است.

[1] Genetic operator
[2] Cross over
[3] Mutation



شکل ۱– رفتار آشوبگونه سیگنال logistic map با $X_0 = 0.3$
a. $r \in [0,3]$ b. $r \in [3,3.57]$ c. $r \in [3.57,4]$

۳- شرح روش پیشنهادی

در این روش از عملگرهای ژنتیکی برش و جهش برای تغییر سطح خاکستری هر پیکسل تصویر و از تابع آشوب برای سه کاربرد استفاده می شود: الف) انتخاب دو پیکسل از تصویر برای اعمال عملگرهای ژنیتیکی. ب) تعیین تعداد بیتهایی از پیکسل‌های انتخاب شده در مرحله قبل، برای عمل برش. ج) تعیین بیتی از هر پیکسل که باید عمل جهش بر روی آن اعمال شود.

گام‌های انجام روش پیشنهادی به صورت زیر می باشد:

گام ۱: تعیین مقدار اولیه برای تابع Logistic map: برای امنیت بیشتر روش پیشنهادی، این مقدار از روی یک کلید ۸۰ بیتی مشخص می‌شود. مقدار این کلید ۸۰ بیتی را می‌توان به صورت زیر محاسبه نمود (رابطه ۲).

$$K = \sum_{i=0}^{79} \left(b_i \times 2^i \right) \qquad (2)$$

در رابطهٔ فوق K مقدار کلید و b_i بیت i-اُم از کلید می‌باشد. مشخص است که این کلید ۸۰ بیتی را می‌توان توسط ۱۰ بایت نیز نشان داد که در این صورت می‌توان مقدار کلید را با توجه به رابطهٔ (۳) محاسبه نمود. در این رابطه، B_i نشان دهندهٔ مقدار بایت i-ام از کلید است. استفاده از ۸ بایت برای نشان دادن کلید دارای این مزیت است که با استفاده از جدول اسکی[۴] می‌توان کلید را بصورت رشته‌ای از حروف نیز نشان داد.

$$K = \sum_{i=0}^{7} \left(B_i \times 256^i \right) \qquad (3)$$

از کلید K برای تولید مقدار اولیه سیگنال آشوب استفاده خواهد شد. از آنجایی که مقدار اولیه تابع در بازهٔ $[0,1]$ در نظر گرفته خواهد شد، کافیست برای محاسبه مقدار اولیه، مقدار کلید را به بازهٔ $[0,1]$ تبدیل کرد. با توجه به اینکه مقدار کلید عددی در بازهٔ $[0\ ,\ 2^{80}-1]$ است، لذا می‌توان از رابطهٔ ۴ برای این منظور استفاده کرد.

$$X_0 = \frac{K}{2^{80}} \qquad (4)$$

گام ۲: انتخاب دو پیکسل از تصویر برای عمل برش: نحوه انتخاب این دو پیکسل به شرح زیر می‌باشد:

پیکسل اول: اولین پیکسل از تصویر که در موقعیت سطر و ستون اول قرار دارد (در گام بعد دومین پیکسل از تصویر و همینطور در مراجعات بعدی پیکسلهای متوالی تا پیکسل قرار گرفته در سطر و ستون آخر).

پیکسل دوم: برای انتخاب این پیکسل دوم از سیگنال آشوب استفاده می‌شود. حال می‌بایست با توجه به مقدار تولید شده توسط سیگنال آشوب شمارهٔ سطر و ستون پیسکل دوم را استخراج نمود. برای این منظور دو عدد از سیگنال آشوب تولید می‌شود، از عدد اول که آن را S_1 می‌نامیم برای انتخاب سطر و از عدد دوم که آن را S_2 می‌نامیم برای انتخاب شمارهٔ ستون استفاده می‌کنیم. اگر تعداد کل سطرها و ستون‌های تصویر به ترتیب R و C در نظر گرفته شوند، برای محاسبه شمارهٔ سطر و ستون پیکسل انتخابی می‌توان از رابطهٔ (۵) کمک گرفت:

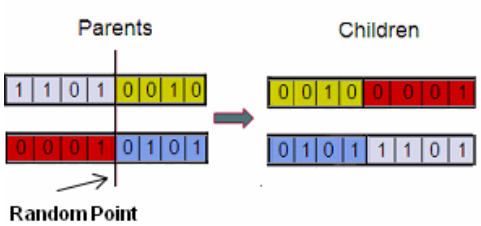
$$i = \lfloor (S_1 \times R) + 1 \rfloor \qquad (5)$$
$$j = \lfloor (S_2 \times C) + 1 \rfloor$$

[4] Ascii Table

در رابطهٔ فوق i و j شمارهٔ سطر و ستون پیکسل انتخاب شده می‌باشند.

گام ۳: انجام عمل برش بر روی پیکسل‌های انتخاب شده: دو پیکسل تعیین شده از گام قبلی، بعد از تبدیل سطح خاکستری به مبنای ۲، در این گام برای عمل برش در نظر گرفته می‌شوند. عمل برش بکار رفته در این مقاله یک عمل برش تک نقطه[5] می‌باشد که به صورت زیر تعریف می‌شود (شکل۲):

- یک نقطه تصادفی در طول رشته انتخاب می شود.
- والدین در این نقطه به دو قسمت می‌شوند.
- هر فرزند با انتخاب تکه اول از یکی از والدین و تکه دوم از والد دیگر بوجود می آید.



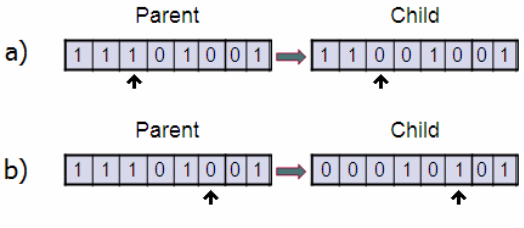
شکل۲- برش تک نقطه

برای تعیین بیتی از پیکسل که به عنوان نقطه تصادفی در نظر گرفته شود، یک مقدار جدید توسط سیگنال آشوب (با توجه به آخرین مقدار تولید شده در مرحله قبل) تولید و آن را S_3 می‌نامیم. مقدار بدست آمده به عنوان محل برش تصادفی در نظر گرفته می‌شود و طبق روش مطرح شده در فوق، عمل برش انجام می‌شود. فرزندان تولید شده به عنوان پیکسلهای جدید جایگزین والدین خود می‌شوند. برای محاسبه محل برش با استفاده از مقدار سیگنال آشوب (S_3) می‌توان از رابطهٔ (۶) استفاده نمود.

$$p = \lfloor (S_3 \times 7) + 1 \rfloor \qquad (6)$$

در رابطهٔ فوق p محل برش می‌باشد.

گام ۴: انجام عمل جهش: جهش در الگوریتمهای ژنتیک، بدین معناست که با استفاده از یک توزیع یکنواخت یک بیت بصورت تصادفی انتخاب و مقدار آن تغییر کند (شکل۳.a).



شکل۳- عملگر جهش

a. جهش در بیت ۵ b. جهش در بیت ۳

[5] Single-point Crossover

در الگوریتم پیشنهادی، عمل جهش برروی بیت‌های پیکسل انتخابی اول (که در گام دوم مشخص شده است)، انجام می‌گیرد. بیتی که عمل جهش از آن محل انجام می‌گیرد، توسط تابع آشوب انتخاب می‌شود. برای اینکار کافیست عددی بعد را توسط تابع آشوب تولید کرد (S_4)، سپس با استفاده از رابطهٔ (۷) می‌توان مقدار تابع آشوب را به یک مقدار گسسته در بازهٔ [1, 8] تبدیل نمود.

$$q = \lfloor (S_4 \times 8) \rfloor \qquad (7)$$

با توجه به مقدار q با استفاده از الگوریتم زیر عمل جهش را تعریف می‌نماییم:

```
if q >= 4 then
        P[q] = not(P[q])
else
        for i = q to 8
            P[i] = not(P[i])
        end for
end if
```

در حقیقت q شمارهٔ بیتی است که عمل برش باید در آن انجام شود (بیت‌ها را از بیت کم ارزش به پر ارزش و از صفر تا هفت شماره گذاری می‌کنیم). از آنجایی که تغییر در بیت‌های کم‌ارزش تصویر، تاثیر چندانی در شدت رنگ پیکسل‌ها ندارد، لذا در الگوریتم جهش پیشنهادی، چنانچه یکی از چهار بیت کم ارزش برای عمل جهش انتخاب شوند، عمل جهش روی بیت انتخاب شده و تمامی بیت‌های پر ارزش‌تر از آن اعمال می‌کنیم، مانند آنچه در شکل۳.b نشان داده شده است.

گام ۵: مراحل ۲ تا ۴ برای تمام پیکسل های تصویر انجام می شود.

گام ۶: مراحل ۲ تا ۵ به تعداد ۲۰ بار بر روی تصویر انجام می‌شود.

گام‌های فوق برای رمزنگاری تصویر پیشنهاد شده اند، بدیهی است برای خارج نمودن تصویر رمز شده گام‌های مذکور را می‌بایست بعکس انجام نمود.

۴- نتایج تجربی

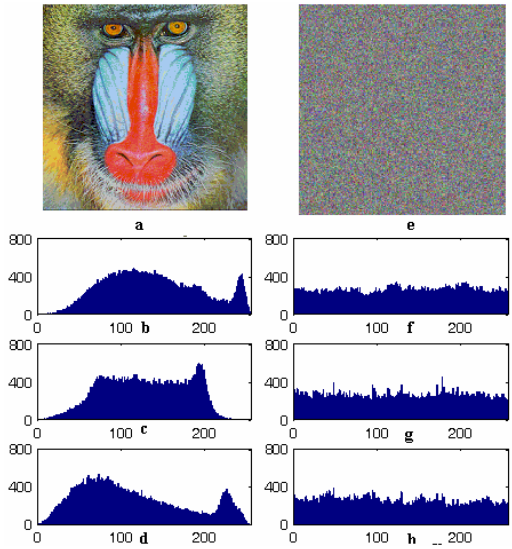
یک رویه پنهانی سازی خوب باید در برابر انواع حملات از جمله حملات کشف رمز[6]، حملات آماری و حملات افسارگسیخته[7] پایدار باشد . در این بخش الگوریتم پیشنهادی از لحاظ تحلیل آماری، تحلیل حساسیت این روش نسبت به تغییرات کلید و تحلیل فضای کلید مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

[6] Cryptanalytic
[7] brute-force

۴-۱. تحلیل هیستوگرام

هیستوگرام تعداد پیکسلها در هر سطح خاکستری را برای یک تصویر نشان می دهد. در شکل ۴ در فریم (a) می‌توان تصویر اصلی و در فریم های (b) و (c) و (d) به ترتیب هیستوگرام این تصویر را در سطح قرمز و سبز و آبی را مشاهده کرد. همچنین در فریم (e) می‌توان تصویر پنهان سازی شده (با کلید 'ABCDEF0123456789ABCD' در مبنای ۱۶) از روی تصویر اصلی (فریم (a)) و در فریم های (f) و (g) و (h) به ترتیب هیستوگرام تصویر پنهان سازی شده در سطح قرمز و سبز و آبی را مشاهده کرد.

همان طور که در شکل ۳ به وضوح قابل مشاهده است هیستوگرام تصویر پنهان سازی شده یک هیستوگرام یکنواخت است و این هیستوگرام با هیستوگرام تصویر اصلی کاملا متقاوت است که این مساله امکان حملات آماری را بسیار مشکل خواهد کرد.



شکل ۴- فریم (a) تصویر اصلی، فریم های (b) و (c) و (d) به ترتیب هیستوگرام تصویر بابون با سایز 256*256 را در سطح قرمز و سبز و آبی، فریم (e) تصویر پنهان سازی شده (با کلید 'ABCDEF0123456789ABCD' در مبنای ۱۶) ، فریم های (f) و (g) و (h)به ترتیب هیستوگرام تصویر پنهان سازی شده را در سطح قرمز و سبز و آبی ، P=1024 ، N=8

۴-۲. تحلیل ضرایب همبستگی

در این بخش همبستگی افقی و عمودی و قطری بین پیکسلهای تصویر مورد بررسی قرار خواهد گرفت. برای این منظور به طور تصادفی ۴۰۹۶ جفت از پیکسلهای مجاور به صورت افقی و عمودی و قطری به عنوان نمونه در نظر گرفته می شود. در شکل ۵ می‌توان توزیع سطح خاکستری پیکسلهای مجاور برای تصویر اصلی و تصویر پنهان سازی شده را مشاهده کرد.

در شکل ۵ فریم های (a) و (b) و (c) به ترتیب توزیع سطح خاکستری را برای دو پیکسل مجاور افقی و عمودی و قطری از تصویر اصلی نشان می دهند. به طور مشابه فریم های (d) و (e) و (f) نیز به ترتیب توزیع سطح خاکستری را برای دو پیکسل مجاور افقی و عمودی و قطری در تصویر پنهان سازی شده نشان می‌دهند.

همچنین در این بخش با استفاده از رابطهٔ (۸) ضریب همبستگی دو پیکسل مجاور محاسبه خواهد شد.

$$E(x)=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}x_i$$

$$D(x)=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(x_i-E(x_i)\right)^2 \qquad (8)$$

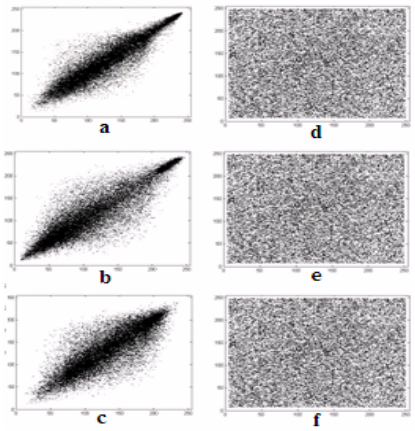
$$r_{xy}=\frac{\mathrm{cov}(x,y)}{\sqrt{D(x)}\sqrt{D(y)}}$$

$$\mathrm{cov}(x,y)=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(x_i-E(x_i))(y_i-E(y_i))$$

نتایج به دست آمده در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول۱- ضریب همبستگی برای دو پیکسل مجاور در حالت(افقی،عمودی، قطری)برای تصویر اصلی و تصویر پنهان سازی

مدل	تصویر اصلی	تصویر پنهان سازی شده
افقی	۰,۹۲۳۱	۰,۰۳۲۷
عمودی	۰,۸۸۳۷	۰,۰۲۱۸
قطری	۰,۸۶۹۸	۰,۰۱۹۳



شکل۵- فریم های (a) و (b) و (c) به ترتیب توزیع سطح خاکستری را برای دو پیکسل مجاور افقی و عمودی و قطری از تصویر اصلی. فریم های(d) و (e) و (f) نیز به ترتیب توزیع سطح خاکستری را برای دو پیکسل مجاور افقی و عمودی و قطری

۴-۳. تاثیر تغییر یک پیکسل در تصویر اصلی بر روی تصویر پنهان سازی شده

تاثیر تغییر یک پیکسل در تصویر اصلی بر روی تصویر پنهان سازی شده را می توان با دو معیار اندازه گیری نمود: NPCR و UACI [10,11]. NPCR را می توان به صورت نرخ تغییر پیکسلها در تصویر پنهان سازی شده به ازای تغییر یک پیکسل در تصویر اصلی تعریف نمود. همچنین UACI را می توان به عنوان متوسط این تغییرات تعریف نمود. NPCR و UACI به صورت زیر تعریف می شوند (رابطهٔ ۹).

$$NPCR = \frac{\sum_{i,j} D(i,j)}{W \times H} \times 100\%$$
$$UACI = \frac{1}{W \times H}\left[\sum_{i,j} \frac{|C_1(i,j) - C_2(i,j)|}{255}\right] \times 100\% \quad (9)$$

که در آن H و W به ترتیب مشخص کننده طول و عرض تصاویر و C_1 و C_2 دو تصویر پنهان سازی شده هستند که از دو تصویر با یک پیکسل اختلاف گرفته شده اند و D به صورت رابطهٔ ۱۰ تعریف می‌شود.

$$D(i,j) = \begin{cases} 1 & if \quad C_1(i,j) = C_2(i,j) \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (10)$$

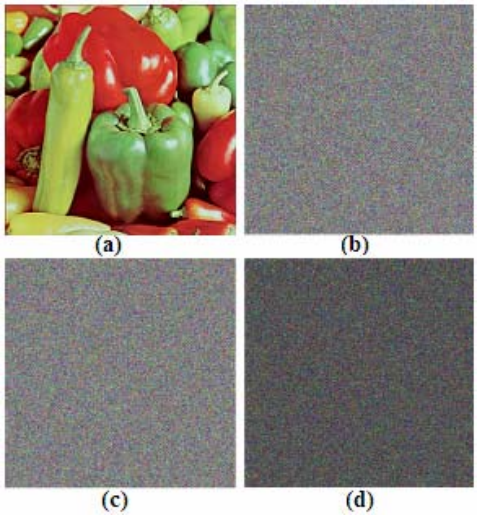
مقادیر به دست آمده برای یک تصویر با سایز 256×256 به این صورت است: NPCR = 99.57%, UACI = 33.64%

مقادیر به دست آمده به وضوح نشان می‌دهد که این روش در برابر حملات تقاضلی[8] نیز مقاوم خواهد بود.

۴-۴. تحلیل حساسیت به کلید

یک رویه پنهان‌سازی تصویر مناسب باید نسبت به تغییرات کوچک کلید حساس باشد بدین معنی که تغییر یک بیت در کلید باید سبب ایجاد یک نتیجه بسیار متفاوت شود. برای آزمایش عملکرد روش پیشنهادی در برابر تغییر یک بیت در کلید از تصویر ۶ استفاده می‌شود.

تصاویر b.۶ و c.۶ حاصل اعمال روش پیشنهادی بر روی تصویر a.۶ با کلیدهای مشابه فقط با یک بیت متفاوت می‌باشند و تصویر d.۶ اختلاف تصاویر b.۶ و c.۶ را نشان می‌دهد. این آزمایش برای چند تصویر منتخب از پردازش تصویر انجام شده است و نتایج حاصل در جدول ۲ آمده است. نتایج به دست آمده نشان می دهد که این روش نسبت به تغییراتی هر چند کوچک در کلید، حساسیت بالایی را نشان می‌دهد.



شکل ۶ – a) تصویر فلفل b و c) تصاویر پنهانی شده با روش پیشنهاد شده با کلید مشابه با یک بیت اختلاف d) اختلاف بین دو تصویر b و c.

جدول ۲- اختلاف بین پیکسلها در تصاویر پنهانی شده با کلید مشابه با یک بیت اختلاف

تصاویر	درصد اختلاف بین دو تصویر پنهانی شده
Peper	۹۹،۵۷۸
Lena	۹۹،۵۰۲
Baboon	۹۹،۵۱۱

۴-۵. تحلیل فضای کلید

در یک روش مناسب فضای کلید باید به حد کافی بزرگ باشد تا بتواند در برابر حملات افسار گسیخته از خود مقاومت نشان دهد. در روش پیشنهادی $2^{80}\left(\approx 1.20893\times10^{24}\right)$ ترکیب مختلف از کلید می‌تواند وجود داشته باشد که نتایج عملی نشان داده است که این تعداد ترکیب مختلف برای کلید جهت مقاومت در برابر انواع حملات افسارگسیخته کفایت می‌کند [12].

۴-۶. آنتروپی اطلاعات[9]

آنتروپی یکی از خصوصیات برجسته برای تصادفی بودن است. آنتروپی اطلاعات یک تئوری ریاضی برای ارتباط داده‌ای و ذخیره سازی است که در سال ۱۹۴۹ توسط Claude E Shannon معرفی شده است [13]. یکی از معروفترین فرمولها برای به دست آوردن آنتروپی به صورت زیر است:

[8] Differential Attack

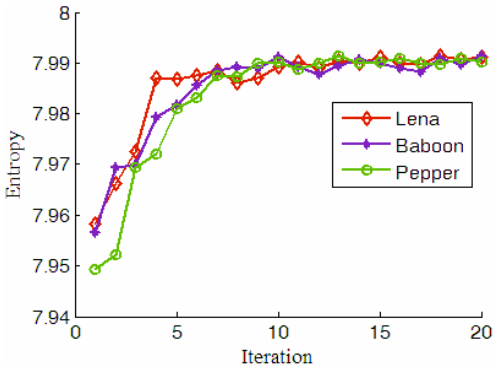
[9] Information Entropy

$$H(S)=\sum_{i=0}^{2N-1}P(s_i)\log\left(\frac{1}{P(s_i)}\right) \qquad (13)$$

که در آن N برابر با تعداد سطح خاکستری استفاده شده در تصویر (در تصاویر ۸ بیتی برابر با ۲۵۶ خواهد بود) و $P(s_i)$ نشان دهنده احتمال وقوع سطح خاکستری i-ام در تصویر خواهند بود.

در تصاویری که به طور کامل تصادفی ایجاد شده است این مقدار برابر با ۸ خواهد بود که این مقدار به عنوان ایده آل در نظر گرفته می شود. هر چقدر مقدار به دست آمده برای آنتروپی در یک روش به ۸ نزدیکتر باشد به این معنی خواهد بود که امکان پیش بینی پذیری این روش کمتر و در نتیجه امنیت این روش بالاتر خواهد بود.

برای تعیین میزان آنتروپی روش پیشنهادی، آنتروپی روش پیشنهادی برای سه تصویر منتخب پردازش تصویر و هر کدام در ۲۰ تکرار اجرای الگوریتم در شکل ۶ مشاهده می‌شود.



شکل۷- آنتروپی تصاویر Lena,Baboon,Pepper بعد از پنهانی شدن توسط روش پیشنهادی در ۲۰ تکرار

با توجه به شکل ۷ مشاهده می شود که آنتروپی در روش پیشنهادی برای تصاویر مختلف در ۲۰ تکرار مختلف حداکثر برابر ۷,۹۹۱۳ به دست آمده است که بسیار نزدیک به مقدار ایده آل یعنی ۸ می‌باشد. که این موضوع امنیت این روش را در برابر با حملات موسوم به آنتروپی نشان می‌دهد.

انتروپی بدست آمده از روش‌های مشابهی که در [۸] و [۱۲] آمده است، بصورت میانگین ۰,۱۴٪ به عدد ۸ (مقدار ایده‌آل) نزدیک‌تر است. یادآوری می‌شود که تغییرات کوچک در راستای بهینه سازی انتروپی، تاثیرات بزرگی در کارایی الگوریتم دارد. در جدول ۳، مقایسهٔ آنتروپی بدست آمده توسط الگوریتم پیشنهادی و روش‌های ارائه شده در [۸] و [۱۲] را نشان می‌دهد، مقادیر جدول ۳ پس از ۵۰ بار تکرار الگوریتم بدست آمده‌اند.

جدول ۳- مقایسه انتروپی بدست آمده در روش‌های مختلف

روش	تصویر	انتروپی
روش پیشنهادی این مقاله	Paper	۷,۹۸۴۴
	Lena	۷,۹۹۰۱
	Baboon	۷,۹۹۱۴
روش ارائه شده در [۸]	Paper	۷,۹۸۱۸
	Lena	۷,۹۸۰۳
	Baboon	۷,۹۸۴۸
روش ارائه شده در [۱۲]	Paper	۷,۹۷۳۱
	Lena	۷,۹۶۷۰
	Baboon	۷,۹۷۹۴

۵- نتیجه گیری

در این مقاله یک روش جدید برای پنهان سازی تصویر با استفاده از سیگنال های آشوب و عملگرهای ژنتیکی برای پیچیده‌تر شدن الگوریتم رمزنگاری پیشنهاد شده است. همان طور که در بخش نتایج تجربی نیز مشاهده شد، این روش در مقابل انواع حملات مختلف از جمله حملات کشف رمز، حملات آماری و حملات افسارگسیخته پایداری مناسبی از خود نشان می دهد. مقدار بالای انتروپی(۷,۹۹۱۳) در این روش کارایی بالای روش پیشنهادی را نشان می‌دهد.

مراجع

[1] A. Mitra, Y. V. Subba Rao and S. R. M. Prasanna, “A New Image Encryption Approach using Combinational Permutation Techniques”, International Journal of Computer Science Vol, 2006, pp: 1306-4428

[2] Chin-Chen Chang , Tai-Xing Yu, “Cryptanalysis of an encryption scheme for binary images”, Pattern Recognition Letters, 2002, pp: 1847–1852

[3] Madhusudan Joshi, Chandrashakher, Kehar Singh, “Color image encryption and decryption using fractional Fourier transform“, Optics Communications, 2007, pp:811-819

[4] Yalon Roterman, Moshe Porat, “Color image coding using regional correlation of primary colors”, Image and Vision Computing, 2007, pp: 637–651

[5] Yas Abbas Alsultanny, “Random-bit sequence generation from image data”, Image and Vision Computing”, 2007, pp: 1178-1189

[6] J.-C. Yen, J.-I. Guo, “A New Chaotic Key-Based Design for Image Encryption and Decryption”, Proceedings IEEE International Conference on Circuits and Systems, vol.4, 2000, pp: 49–52.

[7] S. Li, X. Zheng, “Cryptanalysis of a Chaotic Image Encryption Method”, Scottsdale, AZ, USA, 2002, in:

Proceedings IEEE International Symposium on Circuits and Systems, vol. 2, 2002, pp: 708–711.

[8] H.S. Kwok, Wallace K.S. Tang, “A fast image encryption system based on chaotic maps with finite precision representation”, Chaos, Solitons and Fractals, 2007, pp: 1518–1529

[9] S. Behnia , A. Akhshani , S. Ahadpour, H. Mahmodi , A. Akhavan, “A fast chaotic encryption scheme based on piecewise nonlinear chaotic maps”, Physics Letters A ,2007, pp: 391–396

[10] Chen G, Mao YB, Chui CK, “A symmetric image encryption scheme based on 3D chaotic cat maps”, Chaos, Solitons & Fractals, 2004, pp:74-82.

[11] Mao YB, Chen G, Lian SG, “A novel fast image encryption scheme based on the 3D chaotic baker map”, Int Bifurcat Chaos, 2004, pp:544-560

[12] N.K. Pareek , Vinod Patidar , K.K. Sud, “Image encryption using chaotic logistic map , Image and Vision Computing” , 2006, pp: 926–934

[13] C.E. Shannon, Bell Syst. Tech. J. 28 (1949) 656.