



## اخفاء المعلومات في صورة ملونة باعتماد تقنية LSB و FA

جاسم ابراهيم جاسم

كلية علوم الحاسوب والرياضيات

جامعة الموصل

E-mail [abc\\_170@yahoo.com](mailto:abc_170@yahoo.com)

د. احمد سامي نوري

كلية علوم الحاسوب والرياضيات

جامعة الموصل

E-mail [asn220305@gmail.com](mailto:asn220305@gmail.com)

### الخلاصة

في هذا البحث تم اخفاء معلومات في صور ملونة من نوع Joint Photographic Experts Group (JPEG) باستخدام الاخفاء بتقنية الخلية الثنائية الاقل اهمية مع خوارزمية حشرة اليراعة . يتم اختيار الخلايا الصورية الملائمة للاخفاء باستخدام خوارزمية حشرة اليراعة ، ثم يتم اخفاء خلية ثنائية واحدة من الرسالة السرية في الخلية الثنائية الاقل اهمية من كل كتلة ثمانية من الخلايا الصورية المختارة . وصلت قيمة ذروة الاشارة الى نسبة الضوضاء Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) الى (78.0892) وكانت قيمة متوسط مربع الخطأ Mean Square Error (MSE) ما يقارب (0.0010)، فضلاً عن قيمة نسبة الخطأ في الرسالة السرية Bit Error Rate(BER) التي كانت (0).  
كلمات دالة : الخلية الثنائية الاقل اهمية ، خوارزمية حشرة اليراعة ، ذروة الاشارة الى نسبة الضوضاء ، متوسط مربع الخطأ ، نسبة الخطأ في الرسالة السرية .

## Information Hiding in Color Image based on LSB and FA



**Dr. Ahmed Sami Nori**

Computer Sciences and Math. Collage

Collage

University of Mosul

E-mail [asn220305@gmail.com](mailto:asn220305@gmail.com)

**Jasim Ibrahim Jasim**

Computer Sciences and Math.

University of Mosul

E-mail

[abc\\_170@yahoo.com](mailto:abc_170@yahoo.com)

### **Abstract**

In this research was to hide information in color images of the type of Joint Photographic Experts Group (JPEG) using hiding technique Least Significant Bit (LSB) with Firefly algorithm. The selection of appropriate image cells for hiding by using Firefly algorithm, then hide one bit of the secret message in least significant bit of all eight block of selected cells . Reached the Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) to (78.0892) and the value of the Mean Square Error (MSE) approximately (0.0010), as well as the value of the Bit Error Rate (BER), which was (0).

**Keyword : LSB , Firefly algorithm , PSNR , MSE , BER**

### **1. المقدمة**

بعد انتشار الحاسوب وشبكة الانترنت على نطاق واسع وما رافق ذلك من تسهيل كثير من الاعمال وخفض النفقات وتيسير الوصول الى المعلومات وظهور الكثير من التطبيقات المفيدة للأفراد والشركات والمؤسسات زادت ايضا الاخطار التي يمكن ان تتعرض لها المعلومات

Web Site: [www.kujss.com](http://www.kujss.com) Email: [kirkukjournsci@yahoo.com](mailto:kirkukjournsci@yahoo.com),  
[kirkukjournsci@gmail.com](mailto:kirkukjournsci@gmail.com)



المخزنة في الحاسوب ، حيث يمكن لمن اراد سرقة معلومات مخزنة في الحاسوب ان لا يكون مضطرا لمغادرة مكانه في اغلب الاحيان ، بل يمكنه التسلل عبر الشبكة التي تربط الحواسيب بعضها ببعض وسرقة المعلومات دون ان يراه احد ، وبذلك تكون هذه التقنية سلاح ذو حدين فهي وان كانت مصدرا للخدمات والتسهيلات فهي كذلك معبر لكثير من الشرور، لذا بذلت الكثير من الجهود للاستفادة من خدمات الحاسوب وشبكة الانترنت مع توفير الحماية اللازمة للمعلومات والوثائق الحساسة. [1]

### 1.1 الكتابة المغطاة (Steganography)

هو علم وفن اخفاء معلومات في معلومات اخرى بصورة لا تلفت الانتباه وتكون غير مدركة من قبل المتطفلين وتبقى معرفة المعلومات السرية حكرا على المخولين. كلمة Steganography يرجع أصلها إلى اللغة اليونانية والمعنى الحرفي لها الكتابة المغطاة (Covered Writing) ، واليوم في عصر الحواسيب يمكن استخدام الكتابة المغطاة في الوسائط الحاسوبية جميعها من صور و نصوص و صوت و فيديو فضلا عن استخدام طرائق وتقنيات بعيدة عن التوقع. [2]

### 2.1 الأعمال السابقة

في البحث [3] أُقترح نظام لإخفاء المعلومات في صورة رمادية بتقسيم الرسالة السرية الى 4-16 كتلة ومن ثم المقارنة مع الغطاء لإيجاد المناطق الأكثر ملائمة للإخفاء في الصورة واستخدمت تقنية الخلية الثنائية الأقل اهمية وامثلة عناصر السرب فكانت قيمة الدالة (PSNR) هي 34.8562 في حالة الاخفاء بالطريقة المقترحة و31.9406 في حالة استخدام تقنية الخلية الثنائية الأقل اهمية التقليدية، وفي البحث [4] أُقترح نظام لإخفاء معلومات في ملف صوتي باستخدام امثلة مستعمرة النمل وتقنية الاخفاء في الخلية الثنائية الأقل اهمية، وفي البحث [5] استخدمت خوارزمية امثلة عناصر السرب مع تقنية الاخفاء بالخلية الثنائية الأقل اهمية لاختيار اكثر المواقع ملائمة لإخفاء صورة او نص في صورة ملونة نوع (JPEG) وبعد مقارنة النتائج مع تقنية الاخفاء التقليدية بالخلية الثنائية الأقل اهمية تبين تفوق خوارزمية امثلة عناصر السرب حيث كانت قيمة الدالة (PSNR) 62.87 عند استخدام امثلة عناصر السرب و58.20 عند استخدام الطريقة التقليدية ، وفي البحث [6] استخدمت امثلة مستعمرة النمل وامثلة عناصر السرب كطفرة للخوارزمية الجينية لقياس كفاءة اخفاء المعلومات باستخدام تقنية الاخفاء في الحامض النووي الرايبى منقوص الاوكسجين ، اخفيت الرسالة النصية ضمن سلسلة معروفة التسلسل ثم اخفيت السلسلة في صورة ملونة نوع (Portable Network Graphics (PNG) ،



أدخلت قيم الدالة (PSNR) كمجتمع ابتدائي للخوارزمية المقترحة ، أوضحت النتائج أن أداء الخوارزميتين المهجنتين في سرعة التقارب من الحل الأمثل (عدد الاجيال) كان أفضل من أداء الخوارزمية الجينية الاعتيادية وكذلك قيمة الدالة (PSNR) حيث كانت 56.1752 في حالة استخدام الخوارزميتين المهجنتين و 55.9344 في حالة الخوارزمية الجينية الاعتيادية.

## 2. خوارزمية حشرة اليراعة (Firefly Algorithm)

هي احدى خوارزميات ذكاء السرب اقترحت من قبل الباحث Dr. Xin-She Yang عام 2007 في جامعة Cambridge وهي تحاكي السلوك الاجتماعي لليراعات والاتصال بالإضاءة اثناء الليل. [7][8]

### 1.2 حشرة اليراعة في الطبيعة (Firefly in Nature)

حشرة اليراعة أو سراج الليل هي تلك المخلوقات التي لها القدرة على تكوين الضوء في داخلها فتولد ومضات قصيرة وايقاعية تستخدم لجذب الفريسة أو لغرض الاتصال أو جذب الشريك للتزاوج وكذلك كآلية تحذيرية لحماية اليراعات من عدو محتمل ، معدل الومضات وكمية الوقت جزء من نظام الاشارة المستخدم ، تقل كثافة الضوء كلما زادت المسافة ، وامتصاص الضوء من قبل الهواء يجعل الضوء يضعف اكثر فأكثر كلما زادت المسافة . [9][10]

### 2.2 قواعد خوارزمية حشرة اليراعة

اعتمدت القوانين الثلاثة الآتية:

1-اليراعات الاصطناعية بدون جنس فلا تأثير لجنس اليراعة على جاذبيتها حيث يمكن ان تنجذب اليراعة الى الاخرى بغض النظر عن جنسهم .

2-تتناسب جاذبية اليراعة مع درجة أضاءتها ، لذا تتحرك اليراعة الاقل إضاءة باتجاه اليراعة الأشد اضاءة وفي حالة

تساوي الاضاءة تكون الحركة عشوائية وتقل الجاذبية مع زيادة المسافة بين اليراعتين .

3-اضاءة اليراعة يمكن ان تتحدد من خلال دالة الهدف . [11][12][13]

### 3.2 حركة اليراعات

حركة اليراعة  $i$  الاقل اضاءة الى اليراعة  $j$  الاكثر اضاءة (جاذبية) تتحدد بما يلي:



$$X_{i+1} = X_i + \beta_0 e^{-\gamma r_{ij}^2} * (X_j - \dots(1)$$

$$X_i) + \alpha (rand - \frac{1}{2})$$

حيث

$X_i$  تمثل موقع اليراعة  $i$  ،  $\beta_0$  تمثل الجاذبية الاولية ويمكن ان تكون  $\beta_0 = 1$

$Y$  تمثل معامل امتصاص الضوء  $Y \in [0, \infty)$

عندما تكون قيمة  $Y=0$  فان الجاذبية ستكون ثابتة وعندما  $Y \rightarrow \infty$  فان الجاذبية تقترب من

الصفير وبشكل عام تكون قيمة  $Y \in [0, 10]$

$r$  تمثل المسافة بين يراعتين ،  $\alpha$  تمثل معلمة العشوائية وتكون  $\alpha \in [0, 1]$

$rand$  تمثل عدد عشوائي بين  $[0, 1]$

المسافة  $r_{ij}$  بين اي يراعتين  $i$  و  $j$  في الموقع  $X_i$  و  $X_j$  على التوالي هي المسافة الاقليدية وتحسب في حالة بعدين كما يلي:

$$r_{ij} = \sqrt{(X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2} \dots(2)$$

[13][9]

وبالاستناد الى القوانين الثلاثة يمكن ان تتلخص الخطوات الاساسية لخوارزمية حشرة اليراعة بما يلي:

المدخلات: المعاملات الاولية للخوارزمية ( عدد اليراعات  $n$  ، معامل امتصاص الضوء  $Y$  ، الجاذبية الاولية  $\beta_0$  ، تحديد دالة التقييم ، عدد التكرارات  $(max-iter)$  المخرجات: افضل حل (يراعة)

خطوة رقم (١): تكوين مجتمع اولي بعدد  $n$  من اليراعات

خطوة رقم (٢): تحديد كثافة الضوء لكل مواقع اليراعات بتطبيق دالة التقييم

خطوة رقم (٣): يتم مقارنة كل يراعة مع اليراعات الأخرى وكما يلي:

اذا كانت كثافة الضوء لليراعة  $i$  اقل من كثافة الضوء لليراعة  $j$  تتحرك اليراعة  $i$  باتجاه

اليراعة  $j$  ، تتنوع الجاذبية مع المسافة  $r$  وحسب  $e^{-\gamma r^2}$

خطوة رقم (٤): تقييم الحلول الجديدة وتحديث كثافة الضوء

خطوة رقم (٥): ترتيب اليراعات وايجاد افضل يراعة (افضل حل)



خطوة رقم (٦): اذا تم تجاوز الحد الاعلى للتكرار اذهب الى الخطوة السابعة والاولى اذهب الى الثالثة

خطوة رقم (٧): عرض افضل حل

النهاية [11][14][15]

وكما موضح في الشكل(1)

### 3. النظام المقترح

يتكون النظام المقترح من جزأين:

#### 1.3 خوارزمية الاخفاء

يجري قراءة الرسالة السرية وهي عبارة عن ملف نصي مشفر وقراءة الصورة الغطاء وهي عبارة عن صورة ملونة ذات امتداد JPEG وتمثيل 24 خلية ثنائية (bit) ومن ثم تطبيق خوارزمية حشرة اليراعة على كل شريحة من الشرائح اللونية الثلاثة الاحمر والاخضر والازرق لاختيار الخلايا الصورية الملائمة للاخفاء بشكل غير متسلسل وكما يلي:

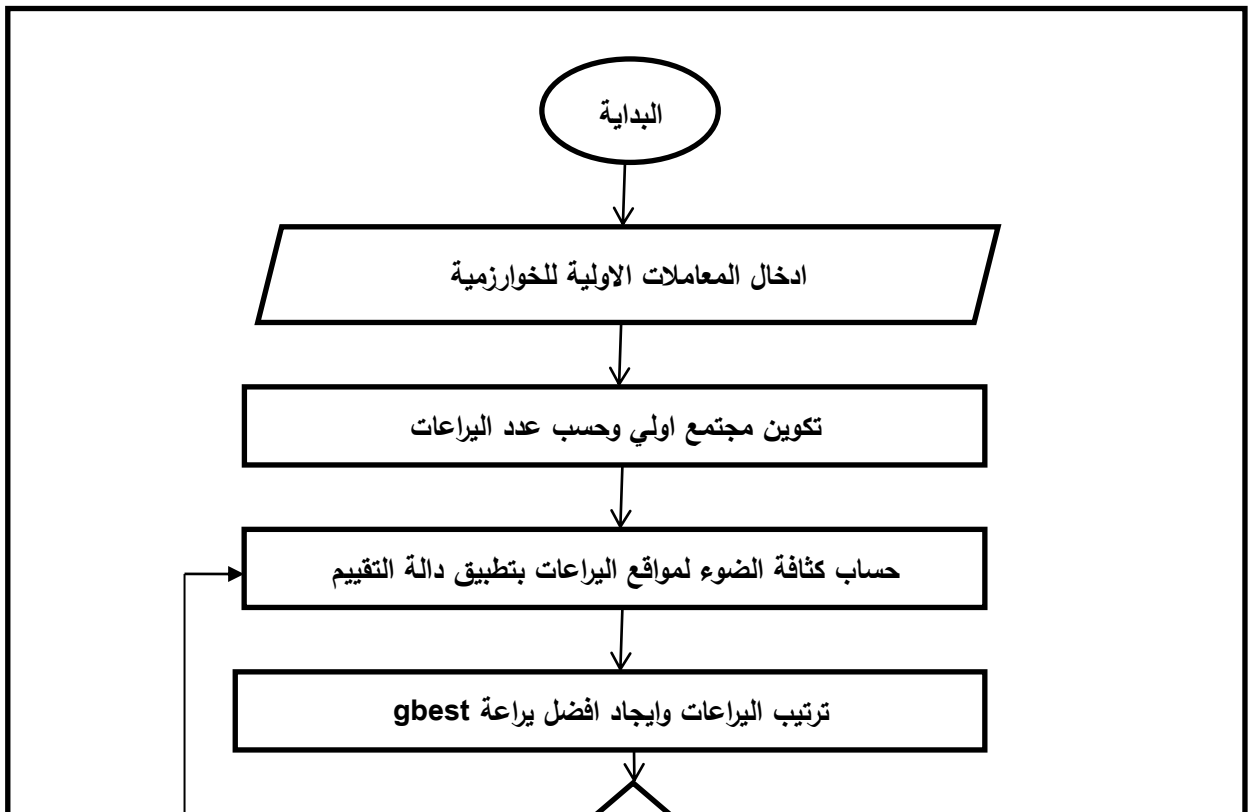
يتم نشر اليراعات بشكل عشوائي على الصورة الملونة ثم تحسب قيمة اللياقة (الإضاءة) لكافة اليراعات ثم ترتب اليراعات حسب الإضاءة ويتم الاحتفاظ بموقع أفضل يراعة للدورة الحالية ثم يتم تحريك اليراعات حيث تنجذب اليراعة الاقل اضاءة الى اليراعة الاشد اضاءة وحسب المعادلة (1) ثم يتم حساب قيمة اللياقة للمواقع الجديدة وترتيب اليراعات حسب الإضاءة والاحتفاظ بموقع أفضل يراعة للدورة الجديدة وهكذا حتى نهاية العدد المحدد من التكرارات وبذلك يتم اختيار الخلايا الصورية الملائمة للاخفاء (افضل موقع من كل تكرار) وفق المعايير التي تم تحديدها في دالة التقييم ثم يجري حذف الخلايا الصورية المكررة والتأكد من أن عدد الخلايا الثنائية للرسالة السرية اقل أو تساوي عدد الخلايا الصورية المختارة ثم تستخدم تقنية الاخفاء بالخلية الثنائية الاقل اهمية لإخفاء الرسالة السرية حيث يتم اخفاء خلية ثنائية واحدة من الرسالة السرية في الخلية الثنائية الاقل اهمية الاولى لكل كتلة ثمانية من الخلايا الصورية المختارة اي ان كل خلية صورية (pixel) تخفي ثلاث خلايا ثنائية واحدة في اللون الاحمر وواحدة في اللون الاخضر وواحدة في اللون الازرق وهكذا حتى نهاية الرسالة السرية لتكوين الصورة عنصر الاخفاء وكما موضح في الشكل (2) .

#### 2.3 خوارزمية الاسترجاع

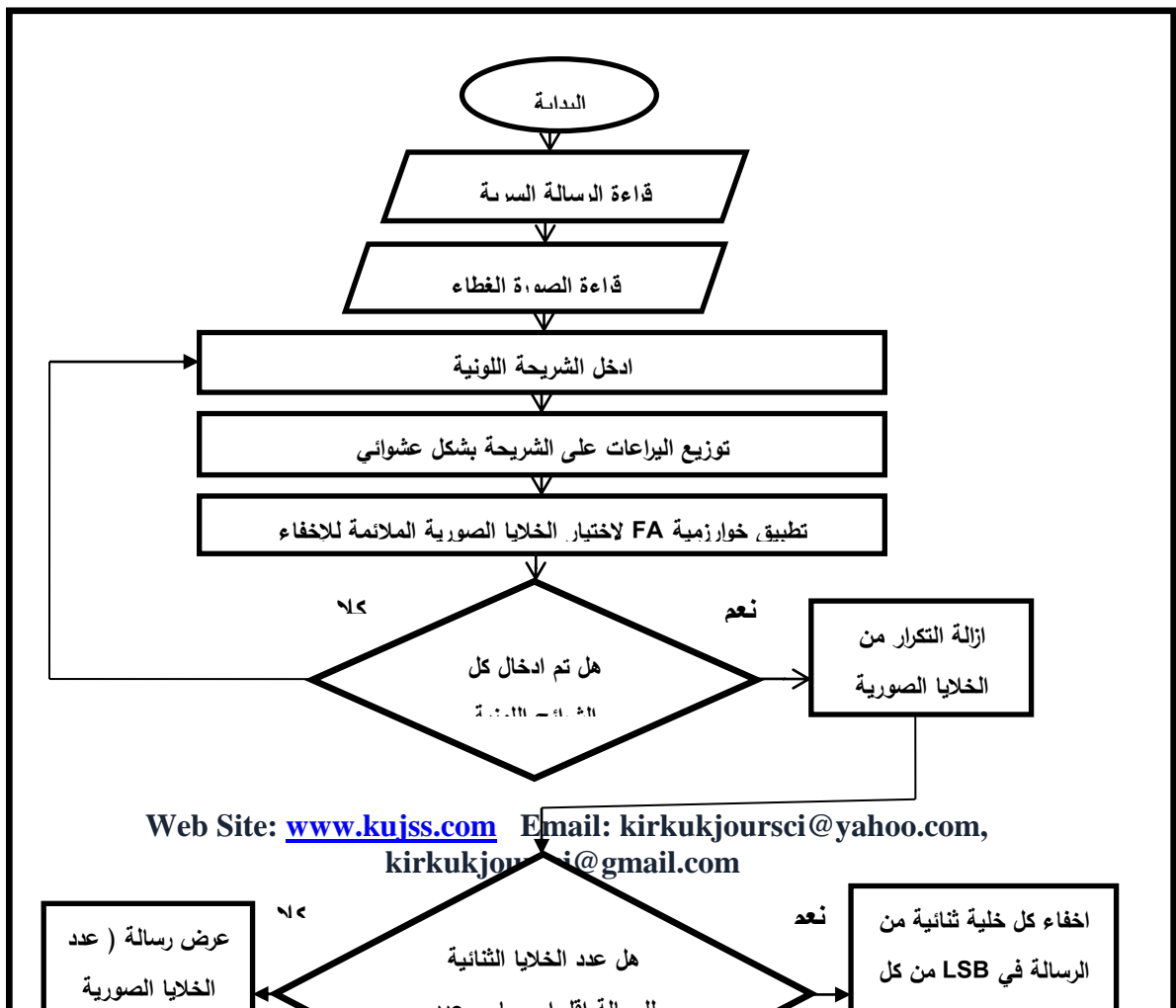


يجري قراءة الصورة عنصر الاخفاء وهي عبارة عن صورة ملونة ذات امتداد JPEG وتطبيق خوارزمية حشرة اليراعة على كل شريحة من الشرائح اللونية الثلاثة الاحمر والاخضر والازرق لاستعادة الخلايا الصورية التي استخدمت في عملية الاخفاء وكما يلي:

يتم نشر اليراعات بشكل عشوائي على الصورة الملونة ثم تحسب قيمة اللياقة (الإضاءة) لكافة اليراعات ثم ترتب اليراعات حسب الإضاءة ويتم الاحتفاظ بموقع أفضل يراعة للدورة الحالية ثم يتم تحريك اليراعات حيث تنجذب اليراعة الاقل اضاءة الى اليراعة الاشد اضاءة وحسب المعادلة (1) ثم يتم حساب قيمة اللياقة للمواقع الجديدة وترتيب اليراعات حسب الإضاءة والاحتفاظ بموقع أفضل يراعة للدورة الجديدة وهكذا حتى نهاية العدد المحدد من التكرارات ، وبعد استرجاع الخلايا الصورية التي استخدمت في اخفاء الرسالة السرية يجري حذف الخلايا الصورية المكررة ثم استعادة الخلية الثنائية الاقل اهمية الاولى من كل كتلة ثمانية للخلايا الصورية المسترجعة لإعادة تكوين الرسالة السرية. وكما موضح في الشكل(3) .

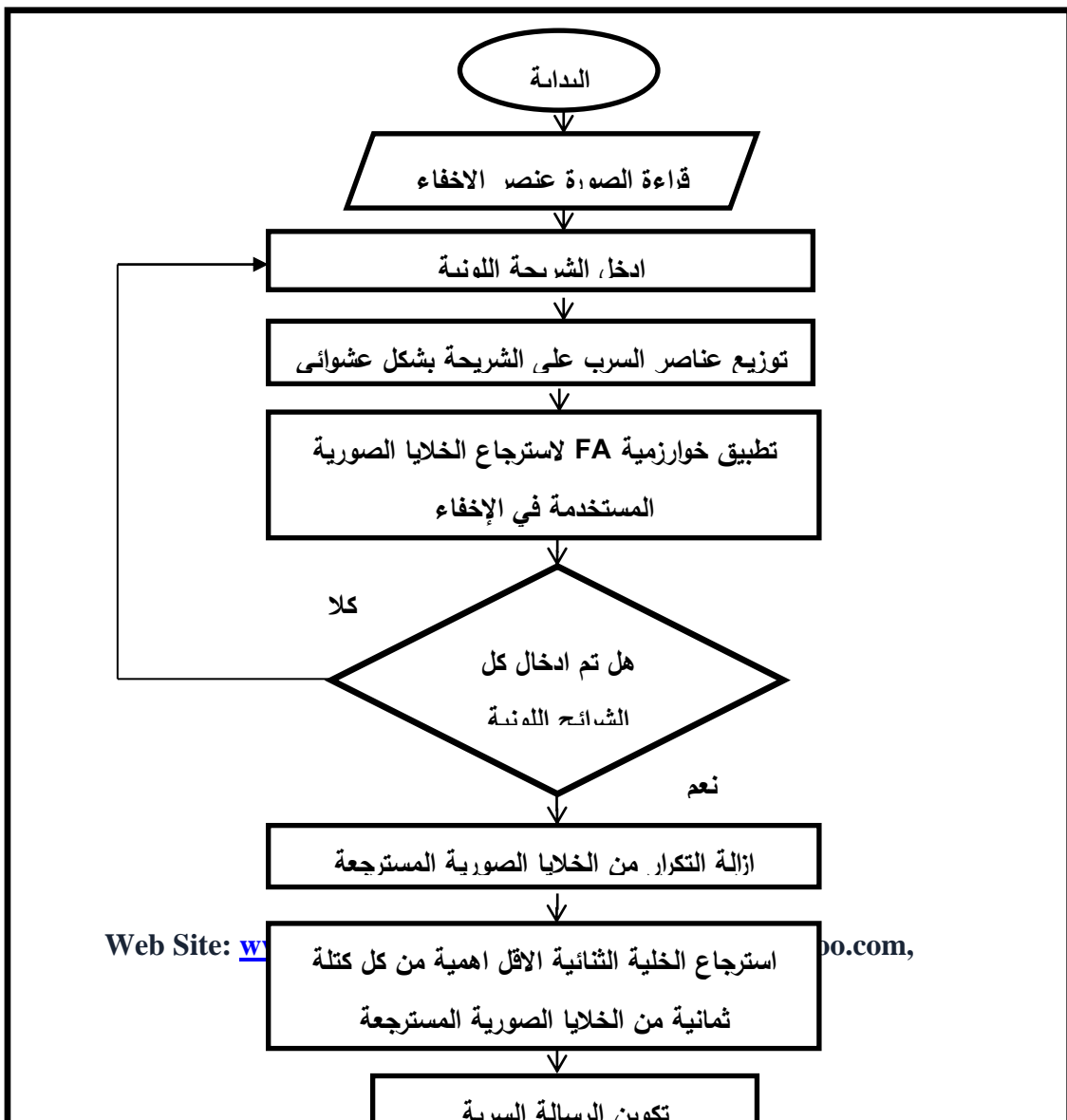


الشكل(1): خوارزمية حشرة اليراعة





الشكل(2): خوارزمية الاخفاء



الشكل(3): خوارزمية الاسترجاع

4.الصور عنصر الغطاء (Cover\_object)

استخدمت صور ملونة نوع JPEG مختلفة الاحجام لتكون عنصر الغطاء كما في الشكل(4)



C.jpeg

B.jpeg

A.jpeg

الشكل(4): الصور عنصر الغطاء

5.الصور عنصر الاخفاء (Stego\_object)

الصور الناتجة بعد اخفاء الرسالة السرية في الصور عنصر الغطاء



C.jpeg

B.jpeg

A.jpeg

الشكل(5): الصور عنصر الاخفاء

6.النتائج



تم تطبيق خوارزمية الاخفاء المعتمدة على خوارزمية حشرة اليراعة على صور ملونة من نوع (JPEG) ذات تمثيل 24 خلية ثنائية لاختيار خلايا صورية (pixel) غير متسلسلة لإخفاء رسالة نصية بحجم 12000 خلية ثنائية (bit) وتكوين عنصر الاخفاء . كل خلية صورية استخدمت لإخفاء ثلاث خلايا ثنائية واحدة في اللون الاحمر وواحدة في اللون الاخضر وواحدة في اللون الازرق في الخلية الثنائية الاقل اهمية الاولى لكل لون ثم حساب قيمة (MSE) كما في المعادلة (3) وقيمة (PSNR) كما في المعادلة (4)

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (S_{xy} - C_{xy})^2 \quad \text{.....(3)}$$

حيث

M, N تمثلان أبعاد الصورة.

S<sub>xy</sub>, C<sub>xy</sub> تمثلان الصورة الغطاء والصورة عنصر الإخفاء على التوالي.

.....(4)

$$PSNR = 10 \log_{10} \left( \frac{255^2}{MSE} \right)$$

ومن ثم تطبيق خوارزمية الاسترجاع المعتمدة على خوارزمية حشرة اليراعة لاستعادة الخلايا الصورية التي استخدمت في الاخفاء ومن ثم إعادة تكوين الرسالة السرية وحساب نسبة الخطأ في الرسالة السرية (BER) كما في المعادلة(5)

$$BER = (\text{Error extracted bits} / \text{Total embedded bits}) * 100 \quad \text{.....(5)}$$

فكانت النتائج كما في الجدول الاتي:

نتائج خوارزمية حشرة اليراعة (رسالة نصية بحجم 12000 خلية ثنائية)

ت	الصورة الاصلية	حجم الصورة	قيمة MSE	قيمة PSNR بال dB	قيمة BER
1	A.JPEG	92 KB	0.0011	77.6574	0
2	B.JPEG	549 KB	0.0010	78.0892	0
3	C.JPEG	762 KB	0.0012	77.4811	0



بعد ملاحظة النتائج المطبقة على خوارزمية حشرة اليراعة لإخفاء رسالة نصية بحجم 12000 خلية ثنائية في خلايا صورية مختارة بشكل غير متسلسل حيث يتم الاخفاء في الخلية الثنائية الاقل اهمية الاولى من كل كتلة ثمانية من الخلايا الصورية المختارة ، يمكن ملاحظة ان الحجم الصغير للصورة لم يؤثر على كفاءة الخوارزمية حيث تجاوزت فيها قيمة الدالة (PSNR) 77.4811 وقيمة الدالة (MSE) لم تتجاوز 0.0012 وبذلك يكون التغير في الصورة غير مدرك من قبل جهاز الرؤيا البشري اما قيمة الدالة (BER) فهي لم تتجاوز 0% وبذلك لا يوجد فقدان في البيانات المسترجعة.

#### 7.الخلايا الصورية المستخدمة في الاخفاء

يتم اختيار الخلايا الصورية الملائمة للإخفاء بشكل غير متسلسل بتطبيق خوارزمية الاخفاء المعتمدة على خوارزمية حشرة اليراعة مما يزيد من صعوبة عملية تحليل الاخفاء ، والشكل (6) يوضح مواقع الخلايا الصورية التي تم اختيارها من الشرائح اللونية الحمراء والخضراء والزرقاء للصور الملونة A.jpeg و B.jpeg و C.jpeg .

#### 8.الاستنتاجات والاعمال المستقبلية

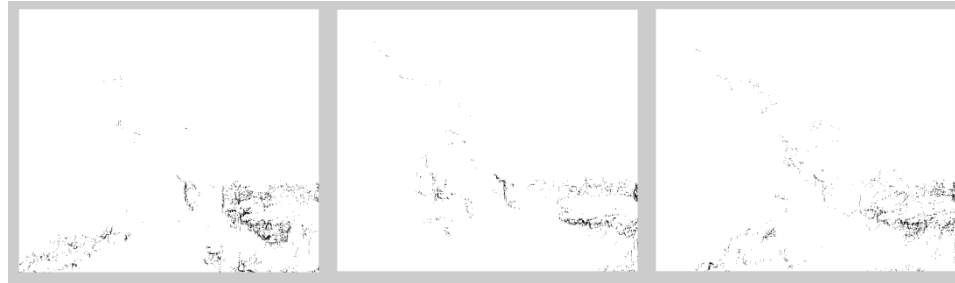
باستخدام خوارزمية حشرة اليراعة يتم اختيار الخلايا الصورية الملائمة للإخفاء بصورة غير متسلسلة مع مرونة عالية في تحديد المعايير من الشرائح اللونية الثلاث عن طريق التحكم بدالة التقييم مما يزيد في صعوبة عمل محلل الاخفاء ، الصورة بعد الاخفاء مطابقة تقريباً للصورة الأصلية استناداً إلى قيمة الدالة (PSNR)، والتغيير الحاصل على الصورة الغطاء غير مدرك من قبل جهاز الرؤيا البشري ، بالإضافة الى ذلك يمكن استرجاع الرسالة السرية بدون الحاجة للاتفاق على الصورة الغطاء كما لا يوجد أي فقدان في البيانات المسترجعة ولكن كلما ازداد حجم المعلومات السرية ازداد عدد الخلايا الصورية المطلوبة للإخفاء وازداد الوقت المطلوب لاختيار تلك الخلايا مما يتطلب استخدام حاسوب عالي الكفاءة. يمكن مستقبلاً تطبيق العمل على انواع اخرى من الوسائط المتعددة مثل الملفات الصوتية والفيديو.



A.jpeg\_Blue

A.jpeg\_Green

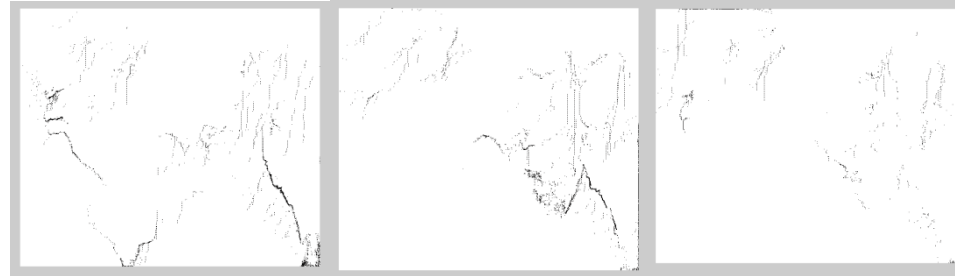
A.jpeg\_Red



B.jpeg\_Blue

B.jpeg\_Green

B.jpeg\_Red



C.jpeg\_Blue

C.jpeg\_Green

C.jpeg\_Red

الشكل (6): الخلايا الصورية المستخدمة في الاخفاء من الشرائح اللونية الحمراء والخضراء

والزرقاء للصور الملونة A.jpeg و B.jpeg و C.jpeg



- [1] خالد سليمان الغثير و محمد عبدالله القحطاني ، " امن المعلومات بلغة ميسرة (2009) ، مركز التميز لأمن المعلومات، جامعة الملك سعود، الرياض، المملكة العربية السعودية.
- [2] Neha Batra and Pooja Kaushik , "Implementation of Modified 16×16 Quantization Table Steganography on Colour Images", International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering ,Volume 2,(2012), Issue 10,PP.(244-250) .
- [3]Parisa Gerami,Subariah Ibrahim and Morteza Bashardoost," Least Significant Bit Image Steganography using Particle Swarm Optimization and Optical Pixel Adjustment", International Journal of Computer Applications ,Volume 55, (2012), No.2 , PP.(20-25) .
- [4]KhosroFardad,Mosayeb Nouri and Mehdi Medadian , "Steganography on Multimedia Products by ACO", International Journal of Engineering Science and Innovative Technology , Volume 2,(2013), Issue 2 ,PP.(52-56) .
- [5] يحيى يونس سعيد البك، " تطوير طريقة البت الاقل اهمية باستخدام امثليه اسراب الطيور لإخفاء المعلومات داخل الصور " ، رسالة ماجستير، علوم حاسوب، كلية علوم الحاسوب والرياضيات، جامعة الموصل، (٢٠١٤) ، الموصل، العراق.
- [6] أدبية خالد عبو،" تطوير تقنيات ذكائية وتطبيقها في إخفاء المعلومات "، رسالة ماجستير، علوم حاسوب، كلية علوم الحاسوب والرياضيات، جامعة الموصل، (٢٠١٤) ، الموصل، العراق.
- [7] Theofanis Apostolopoulos and Aristidis Vlachos, " Application of the Firefly Algorithm for Solving the Economic Emissions Load Dispatch Problem" , Hindawi Publishing Corporation, International Journal of Combinatorics, Volume 2011, (2011) , Article ID 523806 , PP.(1-23) .
- [8] Surafel Lulseged Tilahun and Hong Choon Ong , "Modified Firefly Algorithm", Hindawi Publishing Corporation, Journal of Applied Mathematics, Volume 2012,(2012), Article ID 467631, PP.(1-12) .
- [9] Xin-She Yang , "Firefly Algorithms for Multimodal Optimization", (2010) , Department of Engineering, University of Cambridge, Trumpington Street, Cambridge CB2 1PZ, UK , PP.(1-10) .
- [10] Chai-ead, N., Aungkulanon, P. and Luangpaiboon, P., (2011), "Bees and Firefly Algorithms for Noisy Non-Linear Optimisation Problems" ,proceeding



of the International Multiconference of Engineers and Computer Scientists, Hong Kong , Volume 2.

[11] Aphirak Khadwilard ,Sirikarn Chansombat, Thatchai Thepphakorn, Peeraya Thapatsuwan, Warattapop Chainate and Pupong Pongcharoen , " Application of Firefly Algorithm and Its Parameter Setting for Job Shop Scheduling" ,The Journal of Industrial Technology, Volume 8,(2012), No.1.

[12] Özlen Erkal SÖnmez and S. Alp Baray, "Application of Firefly Metaheuristic Algorithm for The Single Row Facility Layout Problem", (2013) ,Industrial Engineering Department, Faculty of Engineering, Istanbul University, Turkey.

[13] Sh. M. Farahani, A. A. Abshouri, B. Nasiri and M. R. Meybodi, " A Gaussian Firefly Algorithm" ,International Journal of Machine Learning and Computing, Volume 1,(2011), No. 5 , PP.(448-453).

[14] Saibal K. Pal, C.S Rai and Amrit Pal Singh, " Comparative Study of Firefly Algorithm and Particle Swarm Optimization for Noisy Non-Linear Optimization Problems", International Journal Intelligent Systems and Applications, Volume 2012, (2012), Issue 10 , pp.(50-57) (<http://www.mecspress.org/>).

[15] Ziyad Tariq Mustafa Al-Ta'i and Omer Younis Abd Al-Hameed," Comparison between PSO and Firefly Algorithms in Fingerprint Authentication ",International Journal of Engineering and Innovative Technology , Volume 3, (2013) Issue 1, PP.(412-425) .