

## Design Of MultiBand Fractal Triangle Antenna For Wireless Communication Application in L Band and C Band

Dr. Al-Samawal Saleh\*  
Walaa Dalila\*\*

(Received 10 / 2 / 2023. Accepted 26 / 6 / 2023)

### □ ABSTRACT □

The development of wireless communication systems and their entry into most disciplines has led to the development or innovation of new types of antennas used. New shapes and designs have been invented aiming to reduce losses and improve the performance and increasing efficiency of the wireless communication system because antennas are an essential component of any wireless communication system. Fractals antennas are currently considered one of the most important broadband antennas, due to the design parameters that the fractal geometry adds to these antennas. The infinite length between two specific points of the fractal antenna and its self similarity provide multi-resonant, broadband antennas, Wideband that can operate on several applications simultaneously. This paper presents a new design for a triangular multi-frequency fractal antenna operating at (1.44,5.869 ,6.31)GHz. In the first stage we design a reference antenna operating at the frequency of 4GHz with a good value for return loss and VSWR. Then we take advantage of the Fractal geometry properties for improving the efficiency of the proposed antenna. WE obtain a fractal antenna operating at a frequency of (1.44,5.869 ,6.31)GHz with a good value for return loss and VSWR The proposed antenna was designed and analyzed using the CST simulator.

**Keywords:** Printed Antenna, Fractal antenna ,Return loss , Gain, Radiation Pattern.

**Copyright**



:Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

---

\*Professor - Department of Communication Engineering - Faculty of Mechanical and Electrical Engineering - Tishreen University - Lattakia, Syria, dr.alsamowalsaleh@tishreen.edu.sy

\*\* Postgraduate Student (Master) - Department of Communication Engineering - Faculty of Mechanical and Electrical Engineering - Tishreen University - Lattakia, Syria, walaa.dalila@tishreen.edu.sy

## تصميم هوائي مثلثي تجزيئي متعدد المجالات من أجل تطبيقات الاتصالات اللاسلكية في الحزمتين C و L

د . السموعل صالح\*

ولاء دليله \*\*

(تاريخ الإيداع 2023 / 0 / 00. قُبِلَ للنشر في 2023 / 0 / 00)

### □ ملخص □

أدى تطور أنظمة الاتصالات اللاسلكية ودخولها في معظم الاختصاصات، إلى تطوير أو ابتكار أنواع هوائيات جديدة تهدف إلى تقليل الضياعات وتحسين الأداء وزيادة الكفاءة في أنظمة الاتصالات اللاسلكية لأن الهوائيات عنصر أساسي في أي نظام اتصالات لاسلكي. تعتبر الهوائيات التجزيئية حالياً من أهم الهوائيات عريضة الحزمة، نظراً لمعاملات التصميم التي تضيفها الهندسة التجزيئية على هذه الهوائيات. الطول اللانهائي بين نقطتين محددين لهوائي التجزيئي والتشابه الذاتي الداخلي الذي يتميز به يقدمان هوائيات ذات ترددات رنين مختلفة وعرض حزمة كبير، ويمكن أن تعمل على عدة تطبيقات بنفس الوقت. يقدم هذا البحث تصميماً جديداً لهوائي تجزيئي مثلثي متعدد المجالات الترددية يعمل عند الترددات (1.44,5.896,6.31) GHz.

في المرحلة الأولى تم تصميم هوائي مرجعي يعمل عند التردد 4 GHz بقيمة معامل انعكاس وقيمة VSWR جيدة ثم تم الاستفادة من خصائص البنى التجزيئية من أجل تحسين كفاءة الهوائي المقترح، وحصلنا على هوائي تجزيئي متعدد الترددات يعمل عند الترددات (1.44,5.896,6.31) GHz بقيمة معامل انعكاس وقيمة VSWR جيدة. تم تصميم وتحليل الهوائي المقترح باستخدام المحاكى CST.

الكلمات المفتاحية: الهوائي المطبوع، الهوائي التجزيئي، معامل الانعكاس، الريح، المخطط الإشعاعي .

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص



CC BY-NC-SA 04

\* أستاذ - قسم هندسة الاتصالات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية-جامعة تشرين -اللاذقية - سورية.

[dr.alsamowalsaleh@tishreen.edu.sy](mailto:dr.alsamowalsaleh@tishreen.edu.sy)

\*\*طالبة دراسات عليا (ماجستير) قسم هندسة الاتصالات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية-جامعة تشرين -اللاذقية - سورية.

[walaa.dalila@tishreen.edu.sy](mailto:walaa.dalila@tishreen.edu.sy)

## مقدمة:

لسنين عدة، كانت الهندسة الإقليدية قاعدة أساسية للنظرية الكهرومغناطيسية، وخاصة في دراسة العديد من المجالات المتعلقة بهندسة الاتصالات الميكروية. لكن التشارك بين الأمواج الكهرومغناطيسية والأقليدية أدى إلى إيجاد وتطوير كم لا بأس به من الأشكال المعتمدة حالياً في كل مجالات الاتصالات الميكروية وخاصة المرشحات والهوائيات [1] [2] [3] [4]، ففي مجال الهوائيات تمت دراسة وتصميم الهوائيات الخطية والكروية وكذلك الكثير من الهوائيات المطبوعة وبأشكال مختلفة. الهندسة التجزيئية [5] تستخدم لتوصيف الكثير من الأشكال التي لا يمكن وصفها بدقة في الهندسة الإقليدية وخاصة الأشكال ذات خاصية التشابه الذاتي. في السنوات الأخيرة زادت الحاجة إلى تصنيع هوائيات صغيرة الحجم قليلة التكلفة، متعددة الترددات بسبب التطور المتسارع لتطبيقات (الاتصالات الفضائية -الرادار-التصوير الطبي) والاتصالات اللاسلكية حيث ازداد الطلب على الهوائيات عريضة الحزمة في التطبيقات العسكرية والتجارية وذلك لاستخدام جهاز واحد لعدة تطبيقات بترددات مختلفة [6]. لقد تم استخدام البنى التجزيئية في مجال الهوائيات من أجل الحصول على عرض حزمة كبير أو على هوائي متعدد الحزم.

## أهمية البحث وأهدافه:

إن التطور الكبير في تقنيات الاتصالات اللاسلكية فرض تحديات على أجهزة الاتصالات اللاسلكية من حيث الكلفة والحجم والأداء وبالتالي أدى ذلك إلى ازدياد الاهتمام بالأبحاث المتعلقة بتصميم وتصنيع تجهيزات لاسلكية تحقق أفضل كفاءة وأداء.

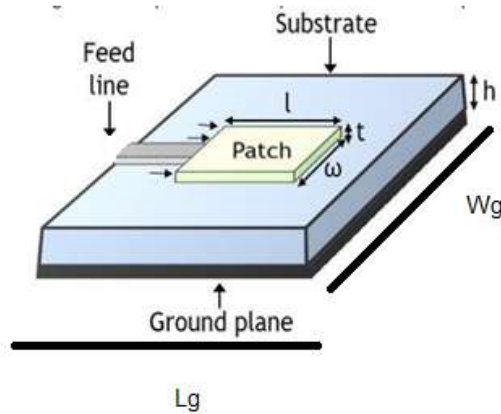
وبما أن الهوائيات التجزيئية تعتبر مجال بحثي جديد يقدم العديد من الميزات للهوائيات مثل: (تحسين إشعاع الهوائي، تحسين نسبة الموجة المستقرة للجهد  $VSWR: Voltage Standing Wave Ratio$ ، تعدد ترددات الرنين). يقدم هذا البحث تصميماً جديداً لهوائي مثلثي تجزيئي متعدد الترددات يحقق كفاءة عالية مناسبة للعمل في الاتصالات الفضائية.

## طرائق البحث ومواده:

### 1- الهوائي المطبوع:

هوائي الشريحة الرقيقة أو يطلق عليه اسم الهوائي المطبوع أصبح من الهوائيات المنتشرة بشكل واسع في مجال الاتصالات اللاسلكية حيث تستخدم بشكل واسع في التجهيزات اللاسلكية المتطورة كتجهيزات الأنترنت والتجهيزات الطبية والخلوية ونقل المعلومات بسبب الخصائص التي يقدمها سهولة تحليله، تركيبه، وزنه المنخفض، يعمل في الاستقطاب الخطي والدائري، تكلفته المنخفضة، حجمه الصغير. يتكون الهوائي من رقعة معدنية سماكتها مهمة بالنسبة لطول الموجة وأبعاد الهوائي، مطبوعة على طبقة أساس عازلة ثابت عازليتها  $\epsilon_r$  وارتفاعها  $h$  كما هو موضح بالشكل (1).

في أسفل طبقة الأساس يوجد طبقة معدنية كاملة تعبر عن السطح الأرضي لها عرض  $W_g$  وطول  $L_g$ ، وتكون الرقعة المشعة غالباً بشكل مربع أو مستطيل، نظراً لسهولة التحليل الرياضي والتصنيع.



الشكل (1) الأجزاء الرئيسية في هوائي الرقعة [7].

2- استخدام البنى التجزئية في تحسين كفاءة الهوائيات المطبوعة:

تعددت طرق تصميم وتحسين بارامترات الهوائيات المطبوعة خاصة فيما يتعلق بطاقة إشعاع واتجاهية وريح الهوائي، حيث يتم تقييم أداء وفعالية الهوائي المطبوع بتحليل بارامتراته التي تعبر عن الطاقة المنعكسة عن الهوائي والطاقة المشعة والريح والاتجاهية ونطاق ترددات عمل الهوائي.

برز خلال السنوات الأخيرة اهتماماً كبيراً بالأبحاث المتعلقة باستخدام البنى التجزئية في تحسين كفاءة الهوائيات المطبوعة، وذلك بالاستفادة من خاصية التشابه الذاتي وفق ما يلي:

- تحسين طاقة الإشعاع وريح الهوائي لدورها في تقليل الطاقة المنعكسة عن الهوائي.
  - الحصول على عدة ترددات رنين وذلك بسبب الحصول على عدة أطوال رنينية في الهوائي.
- تقدم البنى التجزئية أيضاً عدد من البارامترات الإضافية التي يمكن بواسطتها التحكم بأداء الهوائي و أهمها: البعد التجزئي، درجة التجزيء، معامل تغيير أبعاد الفجوات.

3- المحاكى CST:

هو اختصار لكلمة Computer Studio Suite هو عبارة عن برنامج يستخدم لمحاكاة التصاميم ثلاثية الأبعاد للدارات المطبوعة ويعتمد طريقة العناصر المنتهية (FEM Finite Element Method). يدمج CST المحاكاة والتصور والنمذجة الصلبة والأتمتة في بيئة سهلة التعلم حيث يتم الحصول بسرعة وبشكل دقيق على حلول للمشاكل ثلاثية الأبعاد. يمكن رسم الهوائي بشكل مباشر وسهل على المحاكى. [8].

### النتائج والمناقشة:

تم تصميم وتحليل الهوائي المقترح وفق المراحل التالية:

المرحلة الأولى: تصميم هوائي مطبوع مرجعي يعمل عند التردد 4 GHz:

تم تصميم وتحليل الهوائي المطبوع المرجعي باستخدام المحاكى CST حيث تم حساب أبعاد الهوائي باستخدام المعادلات الرياضية المميزة له والموضحة بالعلاقات التالية: [9,10,11]

▪ عرض هوائي الرقعة المشعة  $W$ :

$$W = \frac{300}{2 * f_c * \sqrt{\epsilon_r + \frac{1}{2}}} \quad (1)$$

▪ ثابت العزل الكهربائي الفعّال  $\epsilon_{eff}$ :

$$\epsilon_{eff} = 1/2[(\epsilon_r + 1) + (\epsilon_r - 1) (1 + 12 \frac{h}{w})^{-0.7}] \quad (2)$$

وبسبب الحقل الكهربائي الناتج عند طرفي الرقعة يكون طول رقعة الهوائي الفعّال  $L_{eff}$  أكبر من الطول الفيزيائي  $L$  بمقدار  $\Delta L$ .

▪ يُعطى  $\Delta L$  بالعلاقة:

$$\Delta L = 0.412 * \left[ \frac{(\epsilon_{eff} + 0.3) (\frac{w}{h} + 0.264)}{(\epsilon_{eff} - 0.258) (\frac{w}{h} + 0.8)} \right] \quad (3)$$

▪ يُعطى الطول الكهربائي الفعّال للرقعة المشعة  $L_{eff}$  بالعلاقة:

$$L_{eff} = \frac{c}{2 * f_c * \sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (4)$$

▪ يُعطى  $L$  الطول الفيزيائي للرقعة المشعة بالعلاقة:

$$L = L_{eff} - 2 \Delta L \quad (5)$$

▪ عرض طبقة الأرضي  $W_g$ :

$$W_g = 12 * h + W \quad (6)$$

▪ طول طبقة الأرضي  $L_g$ :

$$L_g = 12 * h + L \quad (7)$$

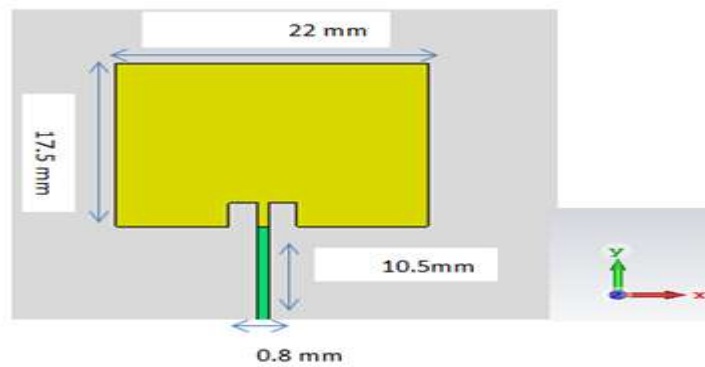
من أجل البدء في تصميم الهوائي نقوم بتحديد التردد 4 GHz واختيار FR4 كطبقة أساس حيث تشير FR إلى (مقاوم للهب) أي (Flame Retardant) وهي عبارة عن مادة ايبوكسي معززة بألياف زجاج حيث قيمة ثابت العازلية لطبقة الأساس  $\epsilon_r = 4.2$  وارتفاع طبقة الأساس  $h = 1.6$  mm وسماكة طبقة النحاس  $t = 0.035$ . تم حساب طول

الهوائي وعرضه وطول وعرض طبقة الأساس من خلال العلاقات من (1) إلى (7). يبين الجدول (1) أبعاد الهوائي المرجعي بوحدة mm يعمل عند التردد 4 GHz:

يوضح الجدول (1) أبعاد الهوائي المرجعي.

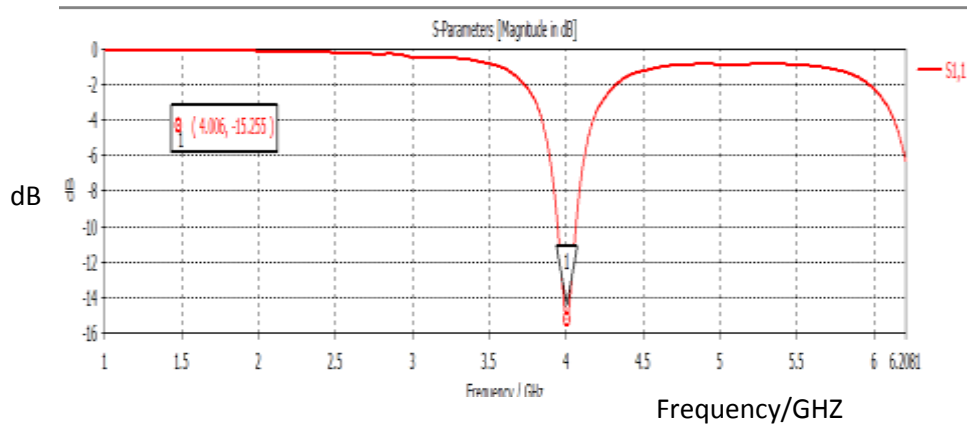
$f_c$	4 GHz
$L$	17.805 mm
$W$	23.257 mm
$L_g$	37.005 mm
$w_g$	42.457 mm
$L_f$	10.5 mm
$w_f$	0.8 mm

بسبب التغيرات في ثابت العازلية فإن الاختبارات تكون مطلوبة عادة لتحديد الطول الدقيق المضبوط للرقعة، وبالتالي تم اختيار  $W$  عرض الرقعة بقيمة 22 mm، واختيار طول الرقعة  $L = 17.50$  mm. يظهر الشكل (2) هوائي رقعة مستطيل الذي تم تصميمه:



الشكل (2) هوائي الرقعة المرجعي.

يظهر الشكل (3) معامل الانعكاس  $S_{11}$  الخاص بهوائي الرقعة الذي تم تصميمه حيث تردد العمل المركزي 4.006 GHz ومعامل الانعكاس  $S_{11} = -15.255$  dB.



الشكل (3) معامل الانعكاس  $S_{11}$  عند تردد الهوائي المرجعي 4 GHz.

نلاحظ من الشكل (3) أن الهوائي لديه انتقائية عالية وأداء ترشيح جيد ويمتلك عرض حزمة صغير حيث من الخصائص التي يتميز بها هوائي الرقعة عرض الحزمة الصغير.

يمكن القول أنه عند تردد الرنين 4 GHz تم إنتاج ممانعة متوافقة مع ممانعة المنفذ أما من التردد 1 GHz حتى التردد 4 GHz سلكت الدارة سلوك مرشح حيث انعكست كل الطاقة الساقطة وعادت إلى المرسل وبالتالي ينحدر النقل بشكل كبير بسبب تخميد الأمواج والانعكاس الكبير الناتج عن عدم موافقة الممانعة.

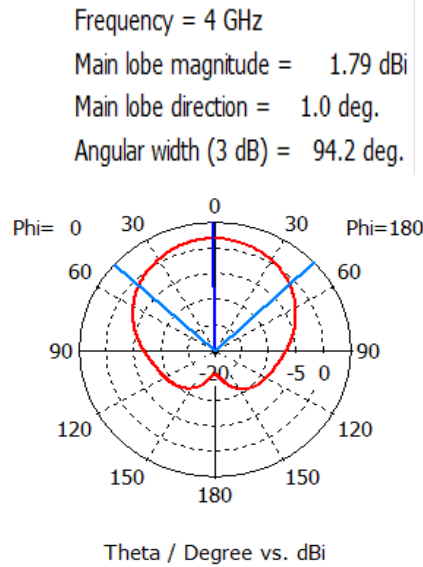
يمكن حساب FBW(Fractional Band Width) وهو مقياس يعبر عن عرض حزمة الهوائي، ويعطى بالعلاقة :

$$(8) \quad FBW = \frac{f_2 - f_1}{f_c}$$

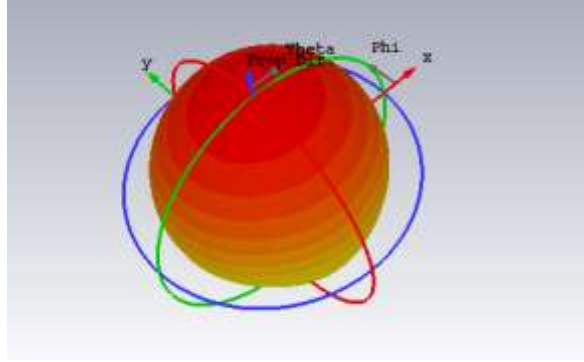
حيث:  $f_c$  هو تردد العمل - ررري - ررري،  $f_1$ ،  $f_2$  : ترددي نصف الاستطاعة.

بلغت قيمته من أجل هوائي الرقعة :  $FBW = \frac{4.22 - 3.8}{4} = 10.5\%$  أي الهوائي لديه عرض حزمة صغير تبلغ 420 MHz.

يظهر الشكل (4) المخطط الإشعاعي للهوائي ( $\Phi=0$ ) عند تردد العمل (4 GHz) بلغت قيمة الريح 1.79 dBi، الهوائي يشع في جميع الاتجاهات في نصف الفضاء الموجود فوق مستوي الأرضي ولدينا نسبة قليلة من الإشعاع في الاتجاه الخلفي.

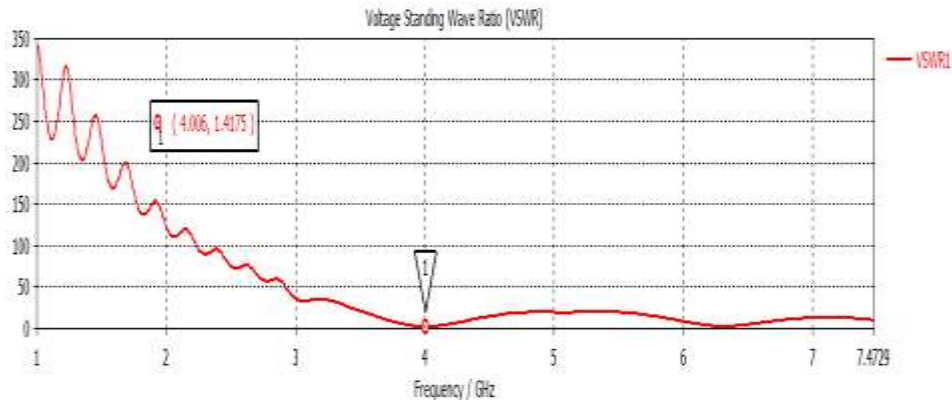


الشكل(4) المخطط الإشعاعي لهوائي الرقعة .



الشكل(5) المخطط الإشعاعي 3D لهوائي الرقعة.

يظهر الشكل (6) VSWR حيث تدل VSWR على مقدار عدم التطابق بين الهوائي وخط التغذية تعتبر قيمة VSWR الأقل من 2 والقريبة من القيمة المثالية التي هي الواحد جيدة حيث كلما ازدادت قيمة VSWR تزداد الطاقة المنعكسة.

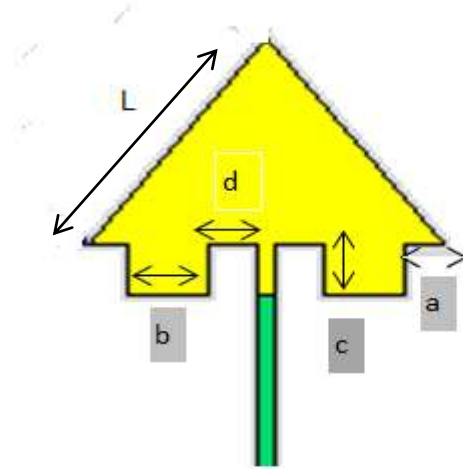


الشكل(6) مخطط VSWR .

نلاحظ أن قيمة  $VSWR = 1.41 < 2$  وهي قيمة جيدة وقريبة من القيمة المثالية لكن مقدار الطاقة المنعكسة يبلغ تقريباً 10 % من الطاقة الكلية.

المرحلة الثانية: تصميم هوائي مثلثي:

تم استنتاج هوائي رقعة مثلثي بالأبعاد الموضحة بالشكل (7) وذلك من الهوائي المرجعي المقترح حيث تم اقتراح تغيير شكل الهوائي من أجل الحصول على نتائج أفضل. الأبعاد الفيزيائية مبينة بالجدول (2).



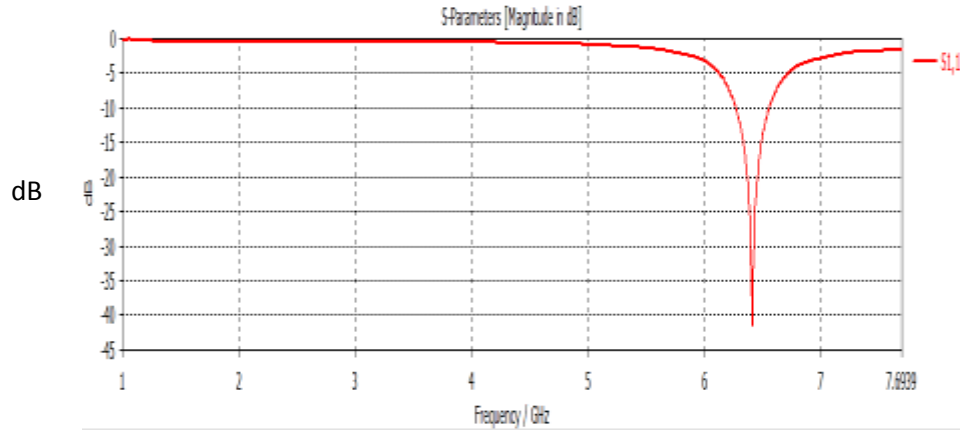
الشكل(7) هوائي رقعة مثلثي.



الجدول (2): الأبعاد الفيزيائية للهوائي المثلثي.

mm	البعد الفيزيائي
12.67	L
1.6	a
3.5	b
2.5	C
2	d

يظهر الشكل (8) معامل الانعكاس  $S_{11}$  الخاص بهوائي الرقعة المثلثي الذي تم تصميمه حيث تردد العمل المركزي 6.409 GHz ومعامل الانعكاس  $S_{11} = -41.123 \text{ dB}$ .

الشكل (8) معامل الانعكاس  $S_{11}$ .

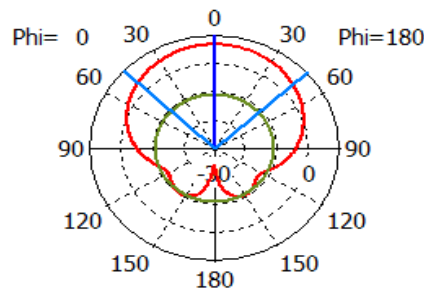
نلاحظ من الشكل (8) أن الهوائي لديه انتقائية عالية وأداء ترشيح ممتاز، حيث نلاحظ وجود حزمة تمرير عند التردد 6.409 GHz مع ذروة نقل واضحة.

نلاحظ أيضاً من الشكل (8) تغيير تردد الرنين وذلك بسبب تغيير شكل الرقعة وبالتالي التأثير على قيمة السعة والحثية المكافئة للبنية حيث تناقصت قيمة السعة والحثية المكافئة للبنية وبالتالي ازدياد تردد الرنين.

بلغت قيمة FBW من أجل الهوائي المثلثي:  $FBW = \frac{6.9-6}{6.4} = 14.06 \%$  أي الهوائي يمتلك عرض حزمة صغير تبلغ قيمتها 900 MHz.

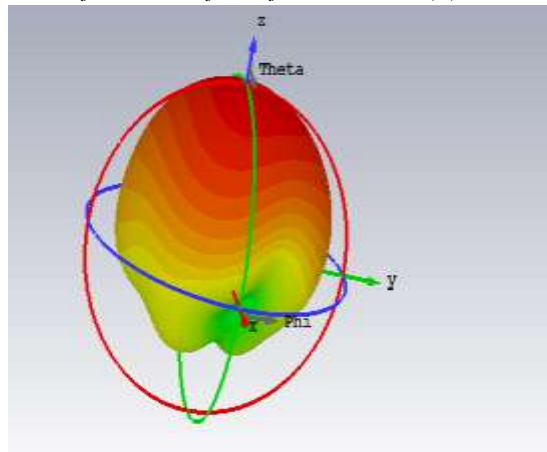
يظهر الشكل (9) المخطط الإشعاعي للهوائي ( $\Phi=0$ ) عند تردد العمل (6.4 GHz) الهوائي يشع في جميع الاتجاهات في نصف الفضاء الموجود فوق مستوى الأرضي ولدينا نسبة قليلة من الإشعاع في الاتجاه الخلفي.

Frequency = 6.4 GHz  
Main lobe magnitude = 3.92 dBi  
Main lobe direction = 0.0 deg.  
Angular width (3 dB) = 94.7 deg.  
Side lobe level = -17.4 dB



Theta / Degree vs. dBi

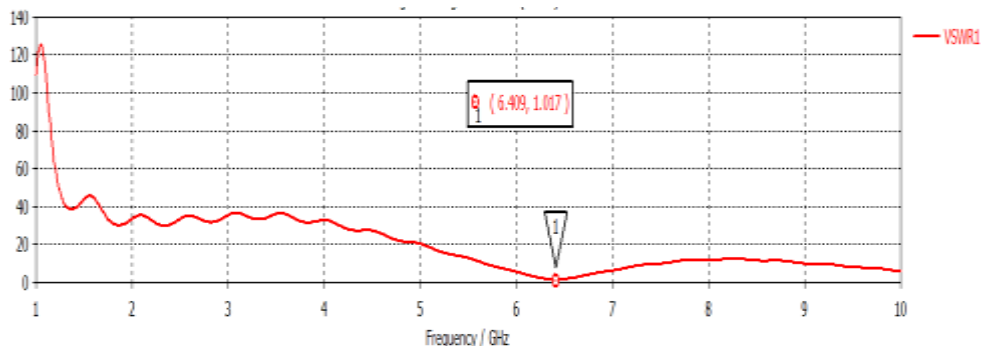
الشكل (9) المخطط الإشعاعي لهوائي الرقعة المثلي .



الشكل (10) المخطط الإشعاعي 3D لهوائي الرقعة المثلي .

نلاحظ من المخطط الإشعاعي الشكل (9) أن قيمة الربح  $Gain = 3.92$  dBi ، أي تم زيادة قيمة الربح ويعود ذلك إلى تقليل الضياعات حيث تم تقليل الإشارات المتخادمة والضياعات الناتجة عن الانعكاسات التي سببها عدم الملاءمة بين خط الإرسال والهوائي.

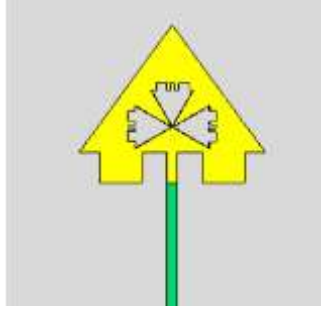
يظهر الشكل (11)  $VSWR$  حيث نلاحظ أن قيمة  $VSWR = 1.017 < 2$  حيث الطاقة المنعكسة لا تتجاوز 3 % من طاقة الدخل حيث قيمتها تقترب من الواحد الذي يمثل القيمة المثالية لها أي أن الإشارة المنعكسة صغيرة جداً.



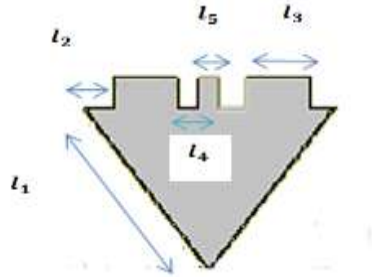
الشكل (11) مخطط  $VSWR$  .

## المرحلة الثالثة: تصميم هوائي التجزيئي:

تم اقتراح هوائي تجزيئي مثلثي حيث تم إدخال البنى التجزيئية (الهندسة التجزيئية) حتى نحصل على عدد معاملات تصميم أكبر للهوائي وبالتالي التحكم بخواص الهوائي حسب التطبيق المطلوب كما هو موضح بالشكل (12) ويعتبر هوائي تجزيئي بدرجة تجزيء  $S=1$ . يوضح الجدول (3) الأبعاد الفيزيائية للهوائي التجزيئي.



الشكل (12) الهوائي التجزيئي المثلثي .

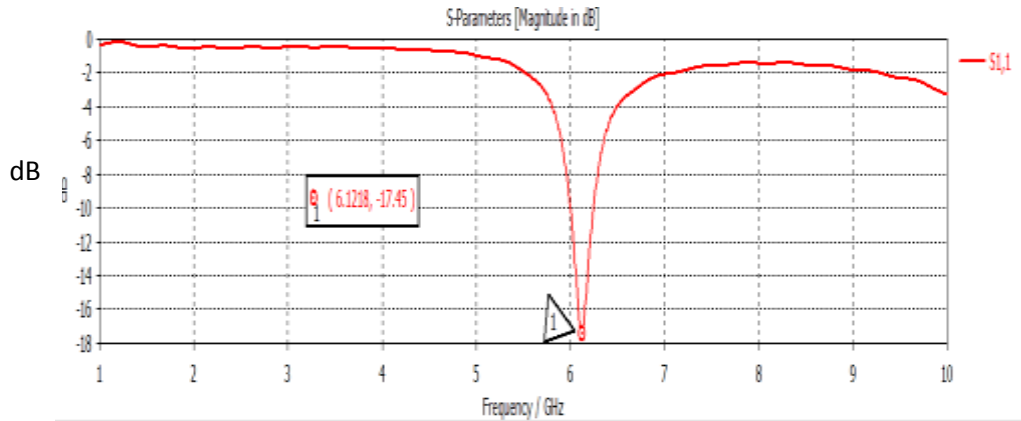


الشكل (13) أبعاد الهوائي التجزيئي المثلثي .

الجدول (3): الأبعاد الفيزيائية للهوائي التجزيئي.

mm	البعد الفيزيائي
3.46	$l_1$
0.55	$l_2$
0.88	$l_3$
0.28	$l_4$
0.3	$l_5$

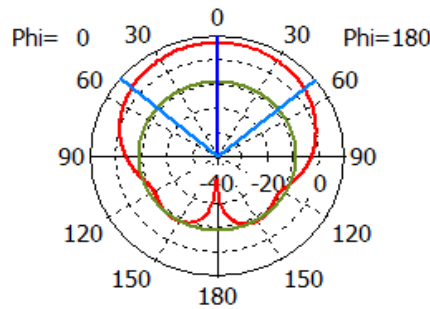
يظهر الشكل (14) معامل الانعكاس  $S_{11}$  الخاص بهوائي الرقعة التجزيئي المثلثي الذي تم تصميمه حيث تردد العمل المركزي 6.1218 GHz ومعامل الانعكاس  $S_{11} = -17.45 \text{ dB}$ . تكون قيمة  $\text{FBW} = \%$



الشكل (14) معامل الانعكاس  $S_{11}$

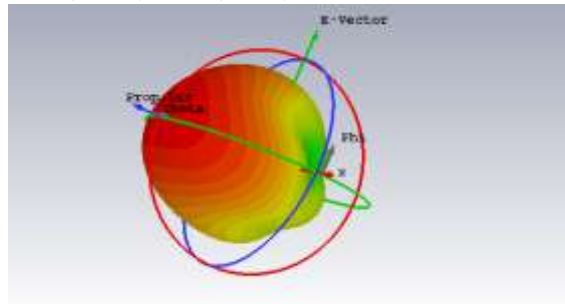
نلاحظ من الشكل (14) أن الهوائي لديه انتقائية عالية وأداء ترشيح جيد، لكن انخفاض معامل الانعكاس بمقدار 23.673 dB حيث بعد تفريغ الهوائي المثلي وإضافة الشكل التجزيئي بداخله أصبح لدينا انعكاس للإشارة أكبر مقارنة مع الهوائي المثلي السابق. كما نلاحظ انخفاض تردد الرنين يعود ذلك إلى ازدياد قيمة السعة والحثية المكافئة للهوائي. يظهر الشكل (15) المخطط الإشعاعي للهوائي (Phi=0) عند تردد العمل (6.12) GHz حيث لدينا ورقة أساسية عريضة ومخطط إشعاعي غير مشوه مستقر أحادي الاتجاه .

Main lobe magnitude = 1.79 dBi  
 Main lobe direction = 0.0 deg.  
 Angular width (3 dB) = 100.1 deg.  
 Side lobe level = -15.9 dB



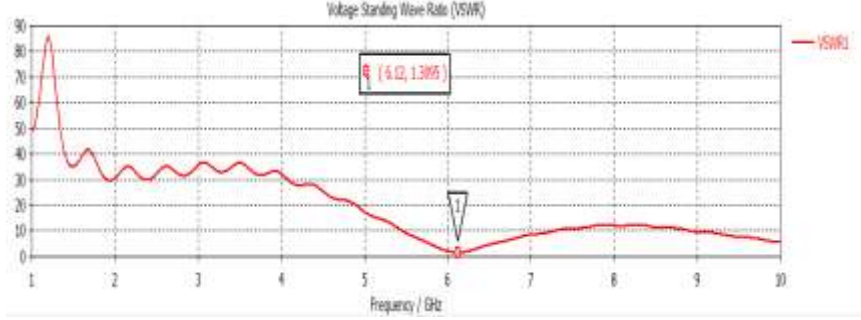
Theta / Degree vs. dBi

الشكل (15) المخطط الإشعاعي لهوائي التجزيئي المثلي .



الشكل (16) المخطط الإشعاعي 3D لهوائي التجزيئي المثلي .

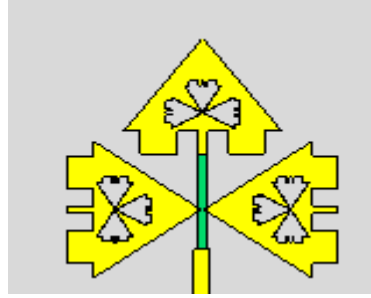
لاحظ من المخطط الإشعاعي الشكل (15) أن قيمة الريح  $\text{Gain} = 1.79 \text{ dBi}$  ، تناقص الريح بمقدار  $2.13 \text{ dB}$  وذلك بسبب زيادة الضياعات في بنية الهوائي مقارنة مع البنية السابقة. يظهر الشكل (17)  $\text{VSWR}$  حيث نلاحظ أن قيمة  $\text{VSWR} = 1.3095 < 2$  ، أي ازدياد الطاقة المنعكسة حيث أصبحت 11% من الطاقة الكلية.



الشكل (17) مخطط  $\text{VSWR}$  .

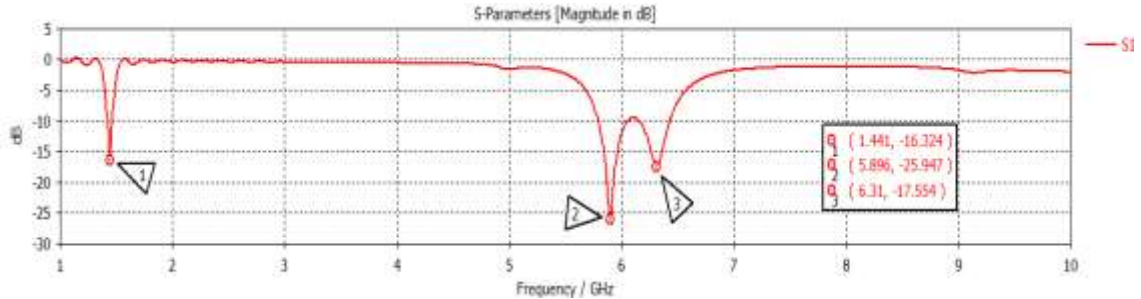
المرحلة الرابعة: تصميم هوائي التجزيئي النهائي:

التصميم النهائي للهوائي المثلثي التجزيئي كما يظهر الشكل (18) بتكرار الشكل المثلثي التجزيئي من أجل زيادة عرض الحزمة و الحصول على هوائي متعدد الحزم الترددية ويعتبر هوائي تجزيئي بدرجة التجزيء  $s=3$ .



الشكل (18) التصميم النهائي للهوائي المثلثي التجزيئي .

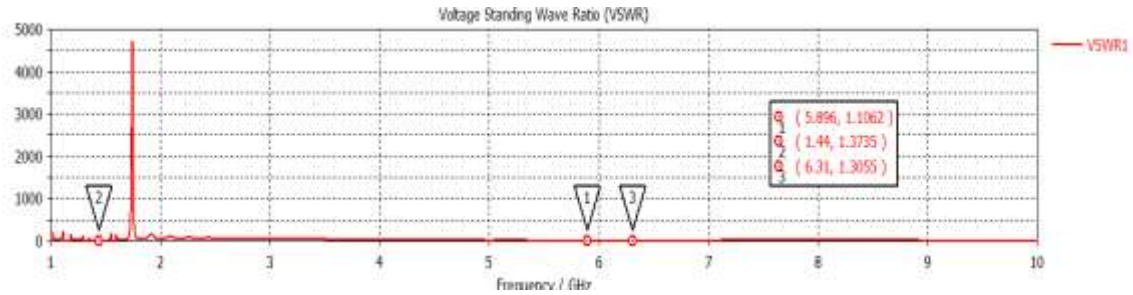
يظهر الشكل (19) معامل الانعكاس  $S_{11}$  الخاص بهوائي الرقعة التجزيئي المثلثي الذي تم تصميمه .



الشكل (19) معامل الانعكاس  $S_{11}$  .

يمكن ملاحظة أنو كلما زادت درجة التجزيء أكثر كلما زادت ترددات الرنين وهذا ما يدل على أن الهوائي التجزيئي يعطي مجالاً ترددياً واسعاً أو عريضاً ويمكن استخدامه لعدة تطبيقات بنفس الوقت مما يخدم الأجهزة الحديثة في الاتصالات. نلاحظ أيضاً من الشكل (19) وجود عدة حزم تمرير عند ترددات مختلفة مع ثلاث ذروات نقل واضحة عند الترددات  $1.441$  ,  $5.896$  ,  $6.31 \text{ GHz}$  وبالتالي عند تكرار الجسم التجزيئي نحصل على أكثر من رنين للشريحة ككل حيث أن حدة الرنين وعرض حزمة التمرير تختلف من تردد لآخر.

يظهر الشكل (20) VSWR لترددات الرنين ونلاحظ أن قيمته قريبة من الواحد عند التردد 5.896 حيث تم تشكيل ممانعة متوافقة مع المنفذ عند هذا التردد، لكن يوجد نسبة قليلة من الإشارة المنعكسة عند الترددات 6.31 ، 1.441 .

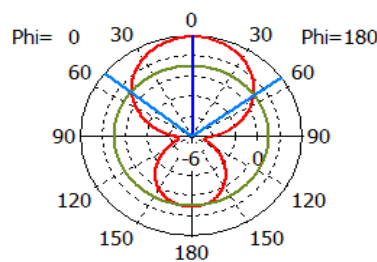


الشكل (20) VSWR .

تظهر الأشكال (21,22,23) المخطط الشعاعي للهوائي (Phi=0) عند الترددات (6.31، 5.896، 1.44) GHz بالترتيب. من المخططات الإشعاعية للهوائي المثلاثي التجزيئي نلاحظ انخفاض الريح عند التردد 5.896 وبلغت قيمته 0.72 dBi ويعود ذلك إلى وجود ضياعات للإشارة عند هذا التردد، حيث تقل الضياعات عند التردد 6.31 حيث قيمة الريح 3.43 dBi وتكون الضياعات عند التردد 1.44 أقل من الضياعات عند التردد 5.896، 6.31 حيث قيمة الريح 3.75 dBi.

يظهر الشكل (21) المخطط الإشعاعي للهوائي (Phi=0) حيث لدينا رقيقة أساسية ورقيقة خلفية أي أن هناك إشعاع في الاتجاه الخلفي لكن قيمته صغيرة.

Frequency = 1.441 GHz  
Main lobe magnitude = 3.75 dBi  
Main lobe direction = 1.0 deg.  
Angular width (3 dB) = 105.7 deg.  
Side lobe level = -2.9 dB

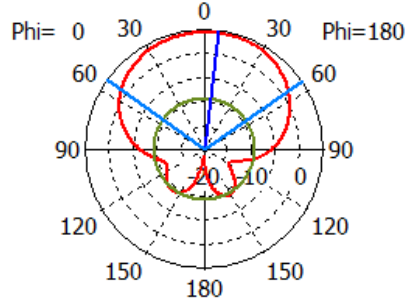


Theta / Degree vs. dBi

الشكل (21) مخطط الإشعاعي للهوائي المثلاثي التجزيئي عند تردد 1.44 GHz .

يظهر الشكل (22) المخطط الإشعاعي للهوائي (Phi=0) حيث لدينا رقيقة أساسية عريضة ومخطط إشعاعي غير مشوه مستقر أحادي الاتجاه .

Frequency = 5.896 GHz  
 Main lobe magnitude = 0.72 dBi  
 Main lobe direction = 7.0 deg.  
 Angular width (3 dB) = 108.8 deg.  
 Side lobe level = -13.6 dB

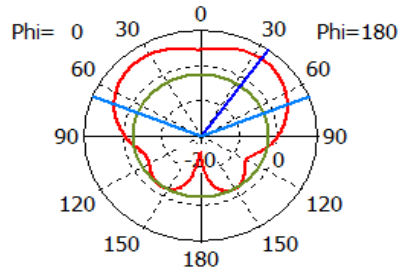


Theta / Degree vs. dBi

الشكل(22) مخطط الإشعاعي للهوائي المثلثي التجزيئي عند تردد 5.896 GHz .

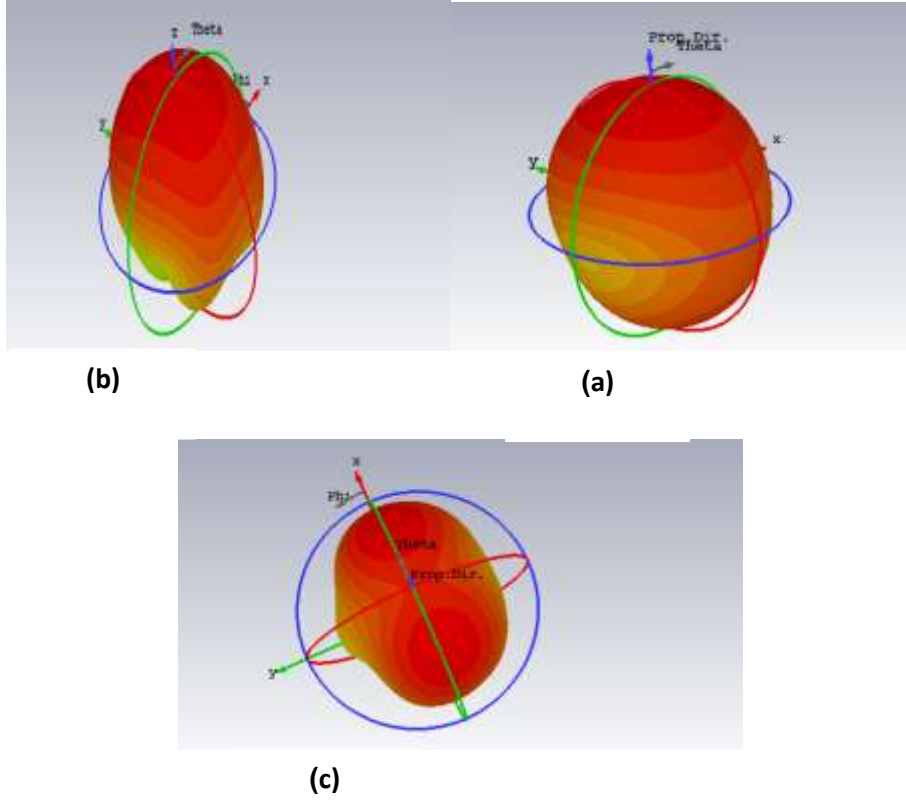
يظهر الشكل (23) المخطط الإشعاعي للهوائي (Phi=0) حيث لدينا ورقة أساسية عريضة ومخطط إشعاعي غير مشوه مستقر أحادي الاتجاه .

Frequency = 6.31 GHz  
 Main lobe magnitude = 3.43 dBi  
 Main lobe direction = 34.0 deg.  
 Angular width (3 dB) = 135.6 deg.  
 Side lobe level = -9.3 dB



Theta / Degree vs. dBi

الشكل(23) مخطط الإشعاعي للهوائي المثلثي التجزيئي عند تردد 6.31 GHz .



الشكل (24) مخطط الإشعاعي 3D للهوائي المثلي التجزيئي عند تردد: (a) 1.44, (b) 5.896, (c) 6.31 GHz.

### الاستنتاجات والتوصيات:

تصميم الهوائيات التجزئية متعددة الترددات أصبح واقعاً ومستخدمًا في عدة مجالات. تم في هذا البحث تصميم هوائي مثلي تجزئي متعدد الترددات يحقق كفاءة جيدة مناسبة للاتصالات الفضائية وذلك بالاستفادة من الخصائص التي تقدمها البنى التجزئية.

يُتّرح في الأبحاث القادمة تصميم مرشح تجزئي وإضافته إلى بنية الهوائي التجزئي، ودراسة البنية الكاملة رياضياً من أجل استنتاج موديل رياضي يعطي صلاحيات واسعة في التصميم بحيث يمكن تغيير تردد العمل وفق التطبيق المطلوب.

### References:

- [1] JAGGARD; D.L. X. SUN. *Reflection from fractal Multilayers. Optics Letters, Vol 15, n 24, 1990.*
- [2] A.D JAGGARD; D.L. JAGGARD . *Scattering from fractal superlattices with variable lacunarity ,1998,1626-1635.*
- [3] S. SALEH; H.AUBERT. *Use of variable Lacunarity Multi-gap Cantor Slabs in Waveguides for the Design of Microwave filters. Microwave and optical technology letters ,vol 28 ,n 2 , January 2001 ,127-130 .*
- [4] F.SURRE, S. SALEH; H.AUBERT. *Frequency Response of Self-Similar Planar Waveguides. Microwave and optical technology letters, vol.37 ,n 3 ,may 2003 .*
- [5] MANDELBROT ,B,B, *Les Objects Fractals forme Hasard et dimension, Paris Flammarion :1989 , 1984,1975 .*



- [6] X.Yang, J. Chiochetti, D. Papadopoulos and L. Susman. *Fractal Antenna Elements and Arrays*. *APPLIED MICROWAVE & WIRELESS Technbical Feature*.
- [7] Kukuluri Suraj and M. Neelaveni Ammal. *Design and Development of Microstrip Patch Antenna at 2.4 GHz for Wireless Application*. *Indian Journal of Science and Technology*, Vol 11(23),June 2018.
- [8]CST GmbH–Computer Simulation Technology, CST –Computer Simulation Technology . [www.cst.com](http://www.cst.com) .
- [9] KANAUIA, B, GUPTA, S. *Printed Antennas: Theory and Design*, Taylor & Francis Group, London New York, 2021, 1-14.
- [10] BALANIS, C. *Antenna theory: analysis and design*. New Jersry,2005.
- [11]S.Saleh, A.Saedy and S.Ali. *A New Printed Antenna Structure Design for Medical Applications(2.4 GHz) by Adding Metamaterial Structures under the Antenna Patch*. *Tishreen University Journal for Scienftific studies* ,Vol(44),2022.