

# Designing a New Fractal Absorbent Chip Consisting of Metamaterials to Decrease the Impact of Electromagnetic Waves on Human Beings

Dr. Al Samawal Saleh\*

Zeinab Naaman\*\*

(Received 20 / 4 / 2023. Accepted 26 / 6 / 2023)

## □ ABSTRACT □

In the last few years, the scientific researches have focused on developing the structure of used materials and the way with which they deal with the electromagnetic radiations to give particular specifications according to its practical use.

Researchers have gotten Metamaterials and found out that they have new features which are not existed in nature, and when they interact with electromagnetic waves, they give a negative electrical permittivity and magnetic permeability.

Thanks to these peculiar features of metamaterials, its design and usage have become a common subject in many domains, and the most important of which is the domain of microwave and optical communications.

Also, the interest in using fractal geometry has increased due to its key role in getting multi bands, wide bandwidth, the possibility of controlling the resonance frequency, and giving more parameters in the design.

In this paper, a chip design, that acts as an absorber composed of dual band metamaterials based on Minkowski geometry, has been proposed.

High absorption rates have been reached (>99%) in GSM frequency bands, by using Computer Stimulation Program CST.

**Keywords:** Metamaterials, Materials with negative electrical permittivity and magnetic permeability, Fractals, Minkowski geometry.

**Copyright**



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

\* Professor, Department of communication, Faculty of mechanical and electrical engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

\*\* Master student, Department of communication, Faculty of mechanical and electrical engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. Zeinab.naaman@tishreen.edu.sy

## تصميم رفاقة ماصة جديدة ذات بنية تجزئية مكونة من مواد Metamaterial لتخفيض تأثير الأمواج الكهرومغناطيسية على الإنسان

د. السموعل صالح\*

زينب نعمان\*\*

(تاريخ الإيداع 20 / 4 / 2023. قُبِل للنشر في 26 / 6 / 2023)

### □ ملخص □

ركزت الأبحاث العلمية في السنوات الأخيرة على تطوير بنى المواد المستخدمة وطرق تعاملها مع الأشعة الكهرومغناطيسية لإعطاء مواصفات خاصة وفقاً لاستخدامها العملي، حتى حصل الباحثون على مواد Metamaterial ووجدوا أنها تمتلك خصائص جديدة غير موجودة في الطبيعة فهي تعطي عند تفاعلها مع الأمواج الكهرومغناطيسية سماحية كهربائية ( $\epsilon$ ) ونفاذية مغناطيسية ( $\mu$ ) سالبتين. ويفضل هذه الخصائص الفريدة لمواد Metamaterial فقد أصبح تصميمها واستخدامها موضوعاً شائعاً في عدة مجالات أهمها مجال الاتصالات الميكروية والضوئية. كما ازداد الاهتمام باستخدام الهندسة التجزئية لما لها من دور في الحصول على نطاقات متعددة وعرض حزمة واسع وإمكانية التحكم بتردد الرنين، وإعطاء برامترات أكثر في التصميم. في هذا البحث تم اقتراح تصميم رفاقة تعمل كمتص مكون من مواد Metamaterial مزدوج النطاق استناداً إلى بنية مينكويكي في الهندسة التجزئية، وقد تم الحصول على نسب امتصاص عالية (>99%) في نطاق ترددات GSM، وذلك باستخدام برنامج المحاكاة الحاسوبي CST.

**الكلمات المفتاحية:** المواد سالبة قرينة الانكسار، المواد سالبة السماحية الكهربائية والنفاذية المغناطيسية، الهندسة التجزئية، بنية مينكويكي التجزئية.

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.

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

Zeinab.naaman@tishreen.edu.sy

**مقدمة:**

قدم العالم الروسي Veselago، في عام 1967، مفهوم مواد قاعدة اليد اليسرى (Left Handed Materials) LHM مع قيم سماحية كهربائية ونفاذية مغناطيسية سالبة في الوقت نفسه، وذكر العديد من ظواهر الأمواج الكهرومغناطيسية غير العادية، مثل معامل الانكسار السالب، وبالتالي سلوك هذه المواد لكل من المجال الكهربائي  $E$  والمجال المغناطيسي  $H$  ومتجه الموجة  $K$  يكون معاكساً لأنواع العادية من المواد والتي تسمى مواد قاعدة اليد اليمنى (Right Handed Materials) RHM. إن مواد LHM ليست متاحة في الطبيعة، لذلك لم يكن هناك تقدم بشأن هذا المفهوم خلال السنوات التسع والعشرين التالية. في عام 1996، اقترح العالم Pendry أولاً بنية أسلاك رفيعة ذات سماحية سالبة. بعد ثلاث سنوات، طرح بنية رنانات ذات حلقة مشقوقة (Split Ring Resonators) SRRs ذات نفاذية سالبة. منذ ذلك الحين، تم بذل الكثير من الجهود في جميع أنحاء العالم في دراسة المواد سالبة معامل الانكسار Metamaterial ذات قيم السماحية والنفاذية السالبة في الوقت نفسه وتحقيقها في مجال الدارات المطبوعة، وقد سمح ذلك بتطوير تطبيقات ومفاهيم وأجهزة جديدة في العقدين الماضيين [1].

على الرغم من أنه تم العثور على أشكال مختلفة من هياكل SRR مفيدة في تطبيقات الأمواج الميكروية، فقد تركز البحث مؤخراً على تصميم المواد سالبة معامل الانكسار Metamaterial متعددة النطاقات والتي يمكن ضبط التردد عليها، ولذلك تم مؤخراً دمج لمفهومي الهندسة التجزئية مع المواد سالبة معامل الانكسار وذلك لتحقيق متطلبات ضبط التردد وتعدد النطاقات.

**أهمية البحث وأهدافه:**

بفضل الخصائص الفريدة لمواد Metamaterial تم استخدامها في مجالات مختلفة مثل الهوائيات، المرشحات والممتصات. تستخدم الممتصات الميكروية المصنوعة من مواد Metamaterial لعدة استخدامات منها تقليل معدل الامتصاص النوعي في الهوائيات المحمولة. بالمقارنة مع مواد الامتصاص التقليدية، فإن الممتصات المصنوعة من مواد Metamaterial تتميز ببساطة التصميم ونسب الامتصاص العالية، إلا أن عيبها هو عرض نطاق الامتصاص الضيق والذي يعيق تطبيقاتها العملية المحتملة. تم بذل الكثير من الجهود لتحسين عرض نطاق الامتصاص أو زيادة عدد نطاقات الامتصاص. إحدى الطرق التي تم اللجوء إليها هي استخدام الهندسة التجزئية في تصميم هذه المواد. نقدم في هذا البحث اقتراح تصميم ممتص مزدوج النطاق مؤلف من بنية مينكويسكي يحوي مواد Metamaterial مع نسبة امتصاص تزيد عن 99%.

**طرائق البحث ومواده:****1\_ المواد سالبة معامل الانكسار Metamaterial:**

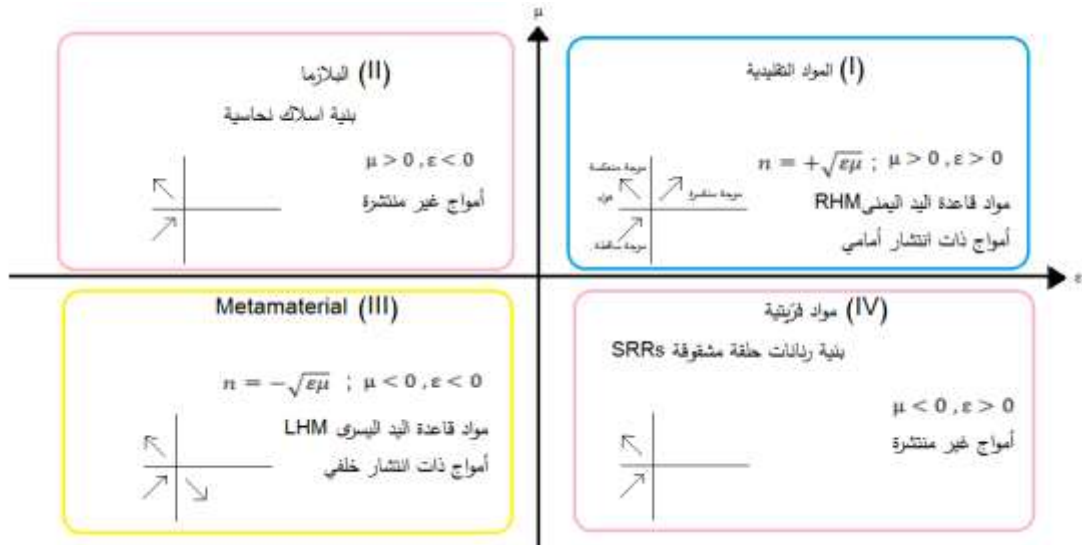
درس الباحثون على نطاق واسع تفاعل الأمواج الكهرومغناطيسية مع المادة، وقد أدى ذلك إلى تحقيق العديد من التطبيقات التكنولوجية والأجهزة التقنية في مختلف التخصصات العلمية [2]. تحدد كل من السماحية الكهربائية ( $\epsilon$ ) والنفاذية المغناطيسية ( $\mu$ ) استجابة المادة للمجال الكهرومغناطيسي، وكقاعدة عامة تملك المعاملات  $\epsilon$  و  $\mu$  قيم موجبة في المواد العادية الموجودة في الطبيعة. لا يوجد حتى الآن مواد طبيعية ذات

قيم  $\epsilon$  و  $\mu$  سالبة، ومع ذلك فإنه بالنسبة لبعض التركيب الصناعية (Metamaterial) فإن السماحية الكهربائية  $\epsilon$  والنفاذية المغناطيسية  $\mu$  لها قيم سالبة، بالمقابل فإن معامل الانكسار لهذه المواد يكون أيضاً سالب، حيث ترتبط هذه المعاملات مع معامل الانكسار من خلال العلاقة [3]:

$$n = \mp\sqrt{\epsilon\mu} \quad (1)$$

يبين الشكل (1) تصنيفاً للمواد وفقاً للمعاملات الأساسية  $\mu$  و  $\epsilon$  [4][5].

يمثل الربع الأول ( $\mu > 0, \epsilon > 0$ ) من مخطط  $\epsilon$  و  $\mu$  مواد قاعدة اليد اليمنى RHM والتي تدعم انتشار الأمواج إلى الامام، بينما لا يمكن أن تنتشر الأمواج في الربعين الثاني ( $\mu > 0, \epsilon < 0$ ) والرابع ( $\mu < 0, \epsilon > 0$ ) اللذين يمثلان المواد وحيدة السالبية، حيث تتميز الأمواج بثابت انتشار عقدي تخيلي بحت. أما الربع الثالث ( $\mu < 0, \epsilon < 0$ ) فيمثل مواد قاعدة اليد اليسرى LHM والتي تدعم سلوك مختلف لانتشار الأمواج.



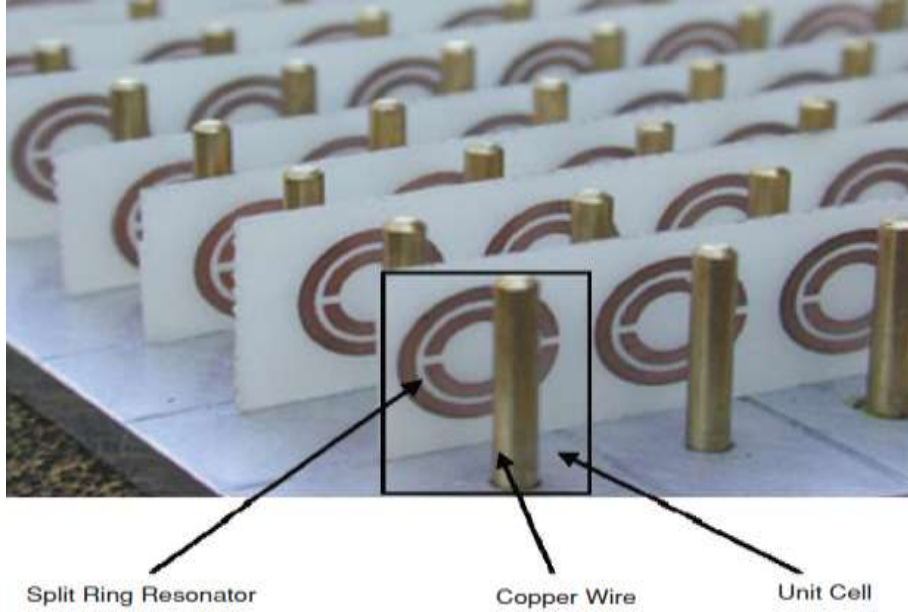
الشكل (1) مخطط عازلية  $\epsilon$  و  $\mu$  ومعامل الانكسار  $n$

إن مواد الـ Metamaterial مصممة بشكل صناعي لها خصائص فريدة بسبب تصميمها الهندسي، كما أنها تظهر بعض الخصائص الغريبة بالنسبة للأمواج الكهرومغناطيسية، مثل معامل الانكسار السالب، انعكاس قانون سنيل، تأثير دوبلر العكسي وسلوك قاعدة اليد اليسرى [6].

تم تصنيع مادة Metamaterial الأولية من خلال دمج رنانات الحلقة المشقوقة SRRs مع الأسلاك النحاسية. واستخدمت التجربة مصفوفة ثنائية البعد من خلايا أحادية، مكررة من شرائط النحاس و SRRs على شرائط متشابكة من مواد لوحة الدارة القياسية.

تسهم مجموعة المرنانات SRRs بمعامل نفاذية مغناطيسية  $\mu$  سالب، بينما تسهم مجموعة الأسلاك بمعامل سماحية كهربائية  $\epsilon$  سالب، كما هو موضح في الشكل (2).

في العقد الاول من القرن الحادي والعشرين بدأ تطوير مواد Metamaterial المهيكلة بهذه الطريقة من قبل العالم سميث [7].

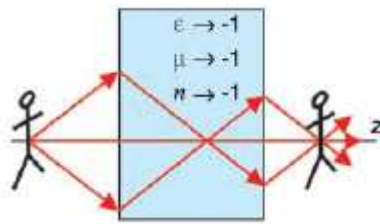


الشكل (2) بنية مواد الـ Metamaterial

## 2\_ تطبيقات مواد الـ Metamaterial :

بفضل الخصائص المميزة لمواد Metamaterial فإنه على مدى العقدين الماضيين تم استخدامها على نطاق واسع لمختلف التطبيقات، بما في ذلك:

- **العدسات المثالية**[8]: هي العدسات التي لا تشوه الصورة ولا تعكسها ولها دقة لا نهائية، وكما ذكر العالم Pendry فإن مواد Metamaterial يمكن أن تصنع العدسة المثالية كما تظهر في الشكل (3).
- **عباءة الإخفاء**: طور العالم Pendry أول تصنيع أول عباءة إخفاء في مجال الأمواج الميكروية في العام 2006 واقترح استخدام مواد Metamaterial حيث يمكن التحكم في مجالاتها الكهرومغناطيسية. عباءة الإخفاء هذه تقوم بتوجيه الأمواج الكهرومغناطيسية بعيداً عن الجسم المراد إخفاؤه[9].



الشكل (3) عدسة مثالية مصنوعة من مواد Metamaterial

- في مجال الهوائيات: يهدف استخدام مواد Metamaterial في الهوائيات إلى تحسين خصائصها مثل الكسب والتوجيه[10].
- إضافة إلى استخدام الـ Metamaterial في تصميم معوضات الطور [11] والمرشحات الفعالة [4] والماصات والعديد من التطبيقات الأخرى.

## 3\_ الهندسة التجزئية:

عبارة عن هندسة تقوم بتوصيف أكثر دقة للأجسام التي لا توصف بشكل جيد في الهندسة الإقليدية. تم تعريف الهندسة التجزئية لأول مرة من قبل العالم B.Mandelbrot في عام 1975 [12]. وقد استخدمت في البداية لوصف الأشكال

الطبيعية مثل الأشجار، تعرجات السواحل والأنهار، قطع الثلج... إلخ، والتي لا يمكن وصفها باستخدام الهندسة الإقليدية، ثم تم استخدام الهندسة التجزئية في مجموعة متنوعة من التطبيقات في العديد من فروع الهندسة والعلوم [13].

يعرف الجسم التجزئي بأنه شكل هندسي مقسم إلى أجزاء مختلفة كل منها عبارة عن نسخة من شكل الجسم الكلي بأبعاد مختلفة، ويتصف بخاصية التشابه الذاتي وملء الفراغ، مما يمكنه من العمل في نطاق تردد واسع [14]. يوجد العديد من الأشكال والمنحنيات التجزئية المستخدمة بشكل عام منها (شريط كانتور، منحني فان كوخ، سجادة سربينسكي، منحني مينكويسكي) [15].

### 1\_3 \_ معاملات الجسم التجزئي:

يتم وصف الجسم التجزئي بالمعاملات التالية:

### 1\_1\_3 البعد التجزئي D (Fractal Dimension) [16][17]:

إن البعد التجزئي عبارة عن عدد غير صحيح، يشير إلى تحقيق ملء أفضل لمساحة الجسم التجزئي، ويعطى بالعلاقة التالية:

$$D = \frac{\ln N}{\ln 1/p} \quad (2)$$

حيث N يمثل عدد القطع الموجودة في الجسم التجزئي، p معامل التقسيم.

### 1\_3\_2 مرحلة أو درجة التجزيء S (Stage of growth) [18][19]:

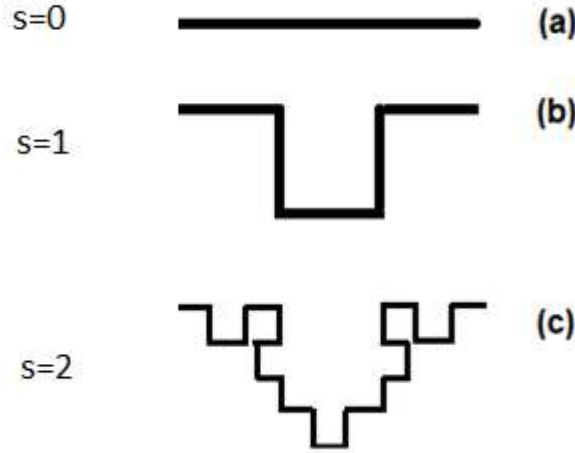
إن الحصول على الجسم التجزئي يتم من خلال عملية تكرارية على عدة مراحل، كل مرحلة تدعى درجة التجزيء. حيث يعبر عن الجسم الأساسي بالمرحلة S=0 (البادئ). تليها المرحلة S=1 التي تعبر عن مولد الجسم التجزئي وتستمر العملية إلى اللانهاية حتى تصغر قطع المادة وتتقدم ضمن الجسم، وتكون كل الأبعاد والقيم الموافقة لدرجة التجزيء S هي نفس الأبعاد والقيم الموافقة لدرجة التجزيء S=1 مضروبة بمعامل التقسيم p. كما أن البعد التجزئي يملك قيمة ثابتة من أجل أي درجة تجزيء.

### 1\_3\_3 معامل تغير أبعاد الفجوات أو الفراغات (Lacunarity):

يعبر عن توزيع الفراغات أو الفجوات في البنية التجزئية، بمعنى آخر يعبر عن كثافة توزع المادة في الجسم التجزئي.

### 2\_3 بنية مينكويسكي التجزئية [15]:

سميت هندسة مينكويسكي على اسم عالم الرياضيات الألماني (Hermann Minkowski). وقد تم تصميم الشكل الهندسي لمنحني مينكويسكي بأخذ الخط المستقيم (البادئ) الموضح في الشكل (4\_a) بطول منتهي. وتظهر بنية المولد في الشكل (4\_b) حيث يتم الحصول عليه بتقسيم البادئ إلى ثلاث مقاطع متساوية في الطول مع استبدال المقطع الأوسط بخطوة ذات طول w، ويتم تكرار ذلك في الخطوات اللاحقة.



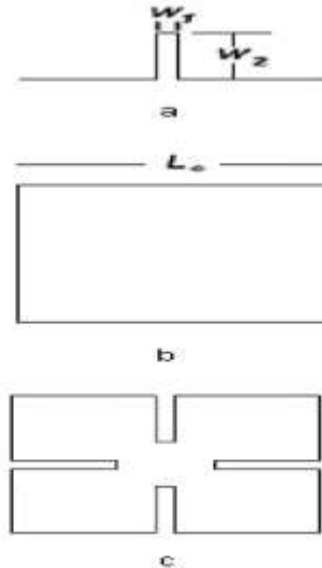
الشكل (4) بنية مينكويسكي التجزئية

$$D = \frac{\ln N}{\ln 1/p} = \frac{\ln 5}{\ln 1/3} \cong 1.48$$

## 1\_2\_3 بنية مينكويسكي التجزئية المعدلة [16]:

يبين الشكل (5) توليد النسخة المعدلة من منحنى مينكويسكي التجزئي مطبق على حلقة مربعة (5\_b)، حيث تم استبدال نسبة الثلث النموذجية الأكثر شيوعاً في توليد غالبية المنحنيات التجزئية المختلفة بنسبة عشوائية. يتكون المولد الموضح في الشكل (5\_a) من خمسة أجزاء، يبلغ طول المقطع الأوسط  $w_1$ ، وطول المقطعين الثاني والثالث  $w_2$ ، بينما طول المقطعين الأول والخامس  $L_0(1-w_1)/2$ .

إن تعديل شكل المنحنى الموضح في الشكل (5\_c) هو طريقة لزيادة طول المسار السطحي مقارنة بمرنان الحلقة المربعة التقليدية، وبالتالي ستؤدي هذه الزيادة إلى انخفاض تردد الرنين أو تقليل حجم المرنان مع الحفاظ على التردد نفسه.



الشكل (5) النسخة المعدلة من منحنى مينكويسكي التجزئي

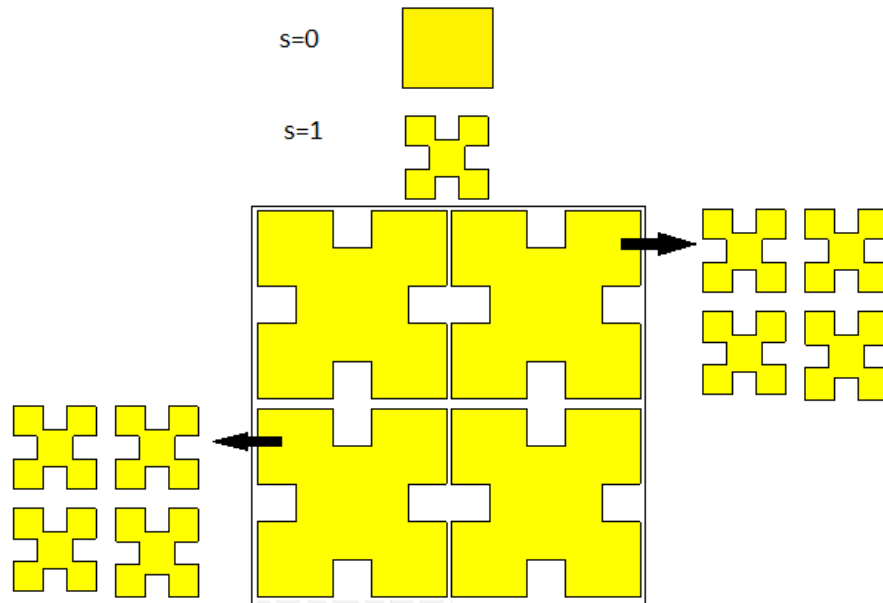
## النتائج والمناقشة:

اعتماداً على بنية مينوكويسكي التجزئية المعدلة والتي يمكننا من خلالها التحكم بتردد الرنين عن طريق تغيير قيمة الأطوال  $w_1, w_2, L_0$ ، تم اقتراح بنية تجزئية متعددة المراحل كل مرحلة منهما تعمل عند تردد مختلف عن الأخرى من خلال القيم المختلفة للأطوال  $w_1, w_2, L_0$ .

في الخطوة الأولى سنقوم بدراسة معامل الانعكاس الناتج عن البنية التجزئية المقترحة، كما سنقوم باستخراج نسبة الامتصاص و قيم  $\epsilon$  و  $\mu$  و  $n$  الناتجة عن هذه البنية وذلك باستخدام المحاكى (CST).

في الخطوة التالية سنقوم بإضافة مواد Metamaterial لهذه البنية ودراسة معامل الانعكاس الناتج وقيم  $\epsilon$  و  $\mu$  و  $n$  بالإضافة إلى نسبة الامتصاص الناتجة ومقارنتها مع القيم السابقة بدون إضافة مواد Metamaterial.

### 1\_ دراسة البنية التجزئية المقترحة بدون إضافة مواد Metamaterial:

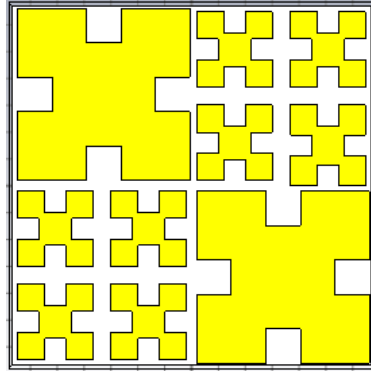


الشكل (6) خطوات تصميم البنية التجزئية المقترحة

تتألف الرقاقة التي تعمل كمتص مزدوج النطاق المقترحة من ثلاث طبقات. الطبقة الأولى عبارة عن صفيحة أرضية نحاسية مربعة ( $D=133.3\text{mm}$ ) بسماكة  $hg=0.035\text{mm}$  وناقلية  $\sigma = 5.8 \times 10^7 \text{S/m}$  يليها طبقة عازلة FR-4 (flame Retardant) بسماكة  $hs=3.2\text{mm}$  وثابت عزل  $\epsilon_r = 4.3$  تفصل الطبقة الأرضية عن الطبقة السطحية النحاسية ذات البنية التجزئية والتي لها سماكة  $hp=0.035\text{mm}$  حيث يظهر الشكل (6) خطوات تصميمها وفق ما يلي:

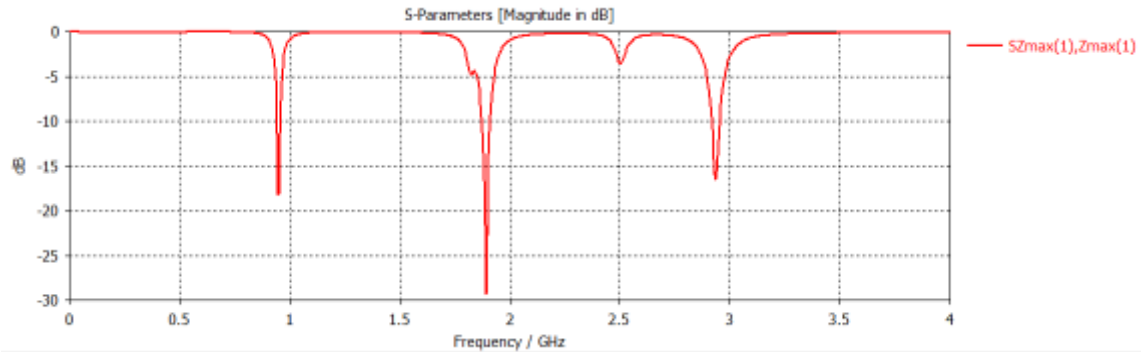
- تقسيم الطبقة السطحية إلى أربعة أقسام ووضع الشكل ذو التكرار  $S=1$  في كل من القسمين الثاني والرابع بالأبعاد التالية:  $L_1=64\text{mm}$ ,  $w_1=w_2=0.2\text{mm}$  والتي تعطي تردد الرنين الأول  $0.9\text{GHz}$ .
  - وضع أربع نسخ من الشكل ذو التكرار الأول  $S=1$  في كل من القسمين الأول والثالث بالأبعاد التالية:  $L_2=28\text{mm}$ ,  $w_1=w_2=0.28\text{mm}$  حيث نحصل على تردد الرنين الثاني  $1.8\text{GHz}$ .
- يظهر الشكل (7) التصميم النهائي للبنية التجزئية المقترحة.



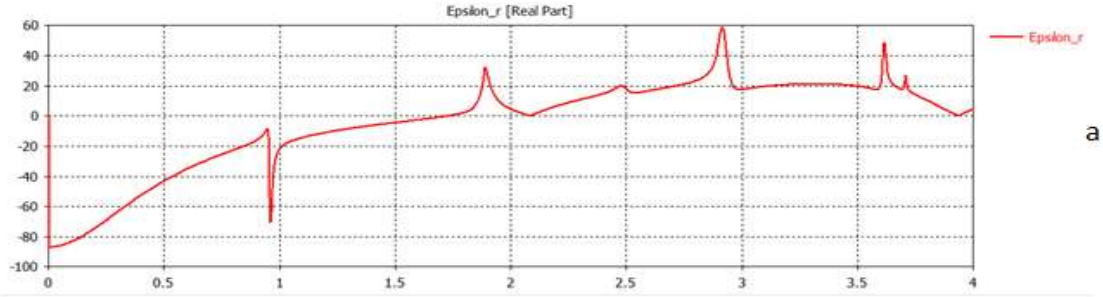


الشكل (7) التصميم النهائي للبنية التجزئية المقترحة

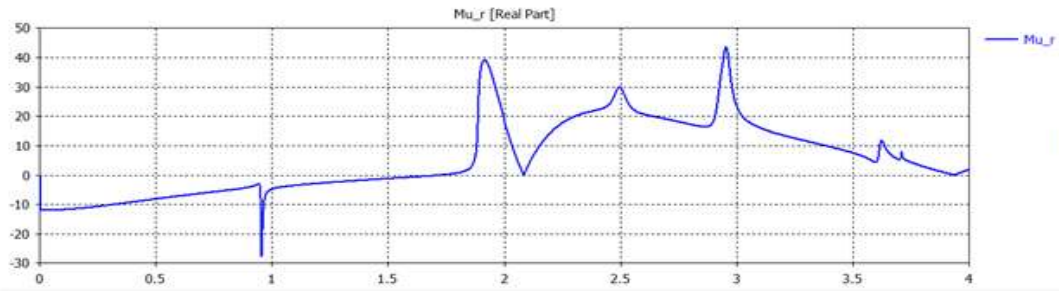
تم إجراء عمليات المحاكاة العددية باستخدام المحاكى CST حيث كان متجه موجة الانتشار  $K$  عمودياً على مستوى البنية المقترحة، وتم اختيار شروط الحدود الدورية على طول المستوى  $XY$  بينما تم اختيار شروط الحدود المفتوحة على طول المستوى  $Z$  وذلك من أجل إثارة البنية بالموجة المستوية المنتشرة باتجاه المحور  $Z$ . يظهر الشكل (8) نتائج عملية المحاكاة بالنسبة لمعامل الانعكاس  $S_{11}$  والتي تبين أن البنية التجزئية تعمل عند ترددي الرنين المطلوبين (0.9-1.8)GHz بالإضافة إلى تردد رنين 2.8GHz:

الشكل (8) معامل الانعكاس  $S_{11}$  الناتج عن البنية التجزئية

بعد استخراج قيم السماحية الكهربائية ( $\epsilon$ ) والنفاذية المغناطيسية ( $\mu$ ) نحصل على النتائج التالية حيث نلاحظ أن القيم السالبة لـ  $\epsilon$  و  $\mu$  تظهر فقط عند التردد (0.9GHz):



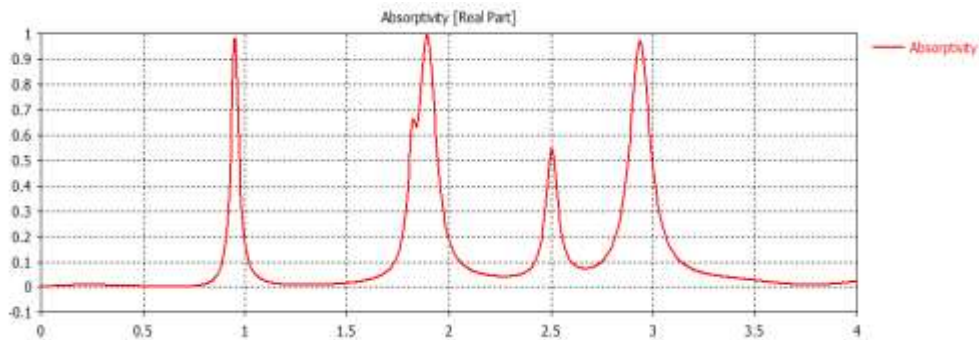
a



b

الشكل (9) قيم السماحية الكهربائية  $\epsilon$  (a) والنفاذية المغناطيسية  $\mu$  (b) للبنية التجزئية

أما بالنسبة لنسبة الامتصاص الناتجة حصلنا على النتائج التالية:



الشكل (10) نسبة الامتصاص الناتجة عن البنية التجزئية

يوضح الشكل (10) وجود قمتي امتصاص عند الترددین المطلوبین (0.9\_1.8)GHz يقابلان نسبتي امتصاص % (97\_99) على التوالي، حيث تم حساب نسبة الامتصاص اعتماداً على العلاقة:

$$A(\omega) = 1 - |S_{11}(\omega)|^2 - |S_{21}(\omega)|^2 \quad (3)$$

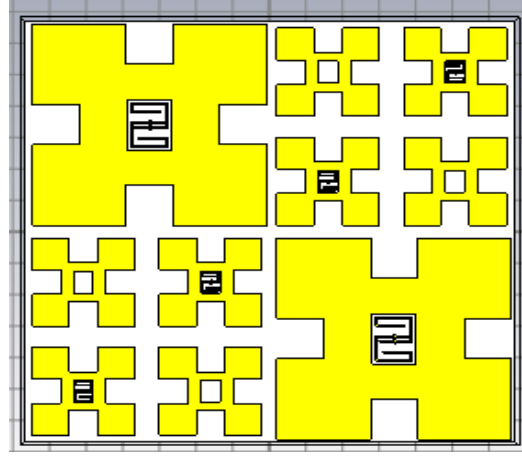
حيث  $S_{11}$  معامل الانعكاس،  $S_{21}$  معامل الإرسال.

معامل الإرسال  $S_{21}$  يساوي الصفر لأن الطبقة الأرضية مغطاة بالكامل بالصفائح المعدنية لذلك يمكن حساب نسبة الامتصاص  $A(\omega)$  من خلال معامل الانعكاس  $S_{11}$  فقط ويتم التعبير عنها بالعلاقة التالية:

$$A(\omega) = 1 - |S_{11}(\omega)|^2 \quad (4)$$

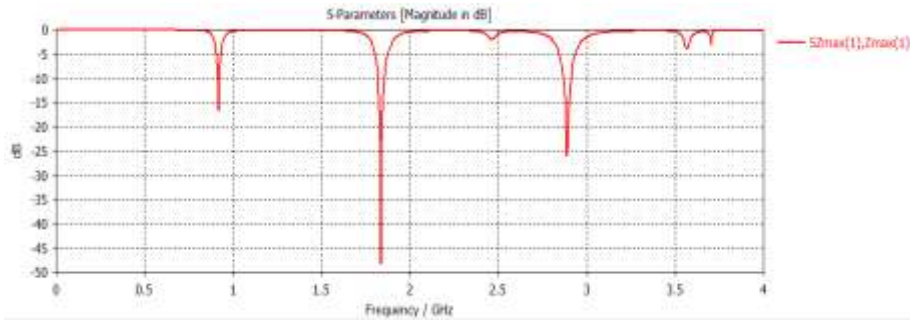
2\_ دراسة البنية التجزئية المقترحة بعد إضافة مواد **Metamaterial**:

نقوم بإضافة مواد الـ Metamaterial بالطريقة المبينة بالشكل (11) وبأبعاد مناسبة للشرائح المضافة إليها ونحصل على التصميم التالي:



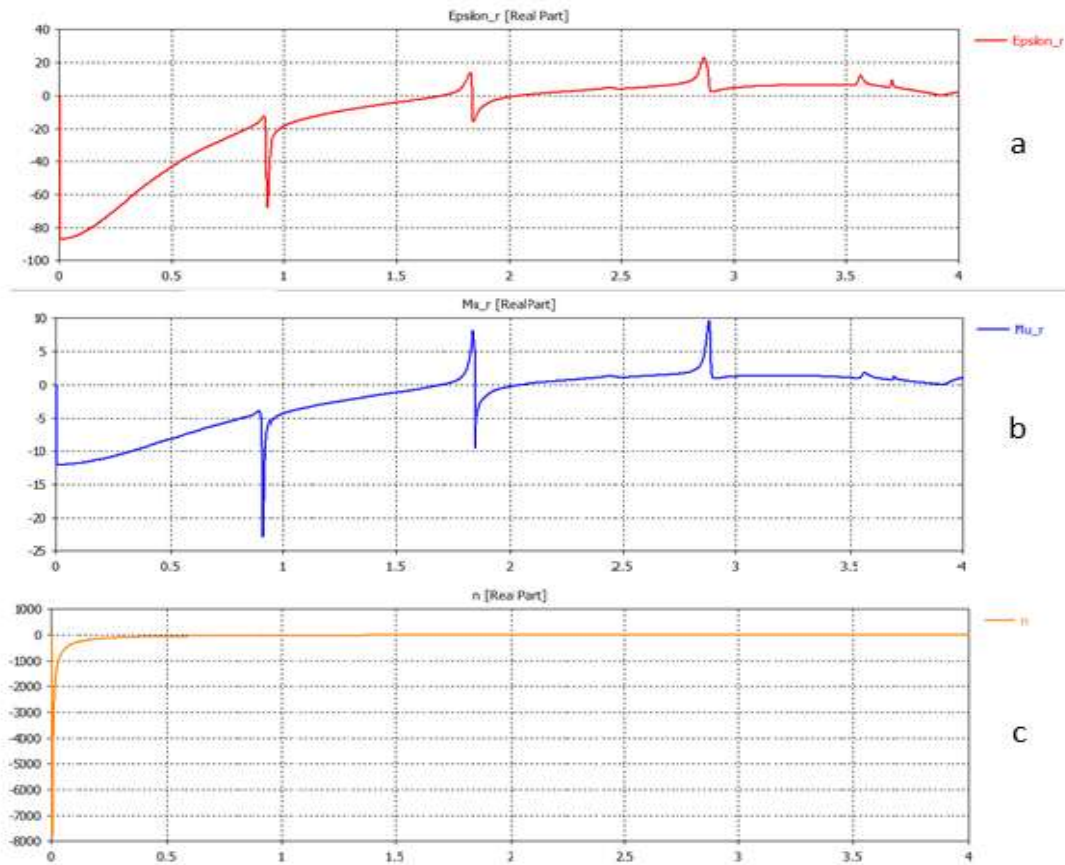
الشكل (11) البنية التجزئية المقترحة بعد إضافة Metamaterial

ثم نقوم بإجراء المحاكاة للتصميم المقترح باستخدام CST فنحصل على النتيجة التالية بالنسبة لمعامل الانعكاس:



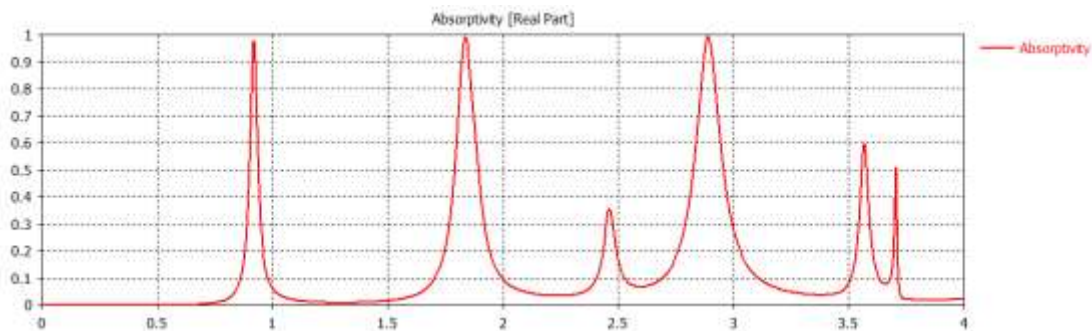
الشكل(12) معامل الانعكاس S11 الناتج عن البنية التجزئية المقترحة بعد إضافة Metamaterial

نلاحظ أن التصميم المقترح يعطي نفس ترددات الرنين السابقة. ثم نقوم باستخراج قيم السماحية الكهربائية  $\epsilon$  والنفاذية المغناطيسية  $\mu$  فنحصل على النتائج التالية:



الشكل (13) قيم السماحية الكهربائية  $\epsilon$  (a) والنفاذية المغناطيسية  $\mu$  (b) ومعامل الانكسار  $n$  للبنية التجزئية بعد إضافة الـ Metamaterial

نلاحظ من الشكل (13) وجود قيم سالبة لكل من السماحية الكهربائية  $\epsilon$  والنفاذية المغناطيسية  $\mu$  ومعامل الانكسار  $n$  عند ترددي الرنين (0.9–1.8)GHz. وباستخراج نسبة الامتصاص المحسوبة بالعلاقة (4) من أجل التصميم المقترح مع مواد Metamaterial، نحصل على النتيجة التالية:



الشكل (14) نسبة الامتصاص الناتجة عن البنية التجزئية بعد إضافة Metamaterial

نلاحظ من الشكل (14) أنه عند الترددين (0.9–1.8)GHz تكون نسبتي الامتصاص % (98–99.2) على التوالي.

### الاستنتاجات والتوصيات:

تم اقتراح تصميم رفاقة ماصة ذات بنية تجزئية تحوي مواد Metamaterial وقد تم الحصول على نسب امتصاص عالية (>99%) عند ترددات الرنين (0.9-1.8)GHz في نطاق GSM، كما أنه يتميز بأبعاد صغيرة وسماكة طبقة عازلة صغيرة.

يمكن استخدام التصميم المقترح في الهاتف المحمول لامتناس الإشعاع الكهرومغناطيسي غير المرغوب فيه للهوائي وذلك بفضل نسب الامتناس العالية الناتجة للتصميم المقترح و كونه يعمل في نطاق GSM مزدوج، وذلك من أجل تخفيض قيم معدل الامتناس النوعي لرأس المستخدم في وضع التحدث عند الاستخدام الحقيقي للهاتف للمحمول.

### References:

- [1] Duan.Z, Wu.B.I, Xi.S, Chen.H and Chen.M, "*Research progress in reversed cherenkov radiation in double-negative metamaterials*", Progress in Electromagnetic Research, PIER, Vol. 90, 2009, pp.75-87.
- [2] Palandoken.M and Kahramanmaras. A, "*Microwave Metamaterials for compact Filters and Antennas*". Technischen Universität Berlin, Berlin 2012, pp.1-121.
- [3] Pendry.J.B, Robbins.D.J and Stewart.W.J, "*magnetism from conductors and enhanced nonlinear phenomena*". IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol.47, No.11, 1999, pp.2075-2084.
- [4] Saleh.A.S, "*Reflection properties of meta material fractal distribution and its applications in narrow band pass microwave filter design*". Tishreen University Journal\_Engineering Sciences Series, Vol.(35), No.(3), 2013, 109\_122.
- [5] Jokanović.B, Geschke.R.H, Beukman.T.S and Milošević.V, "*Metamaterials: Characteristics, Design and Microwave Applications*". SAIEE Africa Research Journal, Vol.101, No.3, 2010, pp.81-121.
- [6] Abdulkarim.Y.I, Mohanty.A, Acharya.O.P, Appasani.B, Khan.M.S, Mohapatra.S.K, Muhammadsharif.F.F and Dong.J, "*A Review on Metamaterial Absorbers: Microwave to optical*". Frontiers in Physics, Vol.10, Article.893791, 2022.
- [7] Rakhesh.S.K, "*A brief intro to metamaterials*", IEEE Potentials, 2004, pp.44-46.
- [8] Vinodkumar.M and Sharma.D, "*A Review on Metasurface and Metamaterials for Antenna Design*". SCRS Conference Proceedings on Intelligent systems, 2021, pp.185-205.
- [9] Marqués.R, Martín.F and Sorolla.M, "*Metamaterials with negative Parameters*". New York: Wiley, 2008.
- [10] Wu.B.I, Wang.W, Pacheco.J, Chen.X, Grzegorzczuk.T and Kong.J.A, "*A Study of Using Metamaterials As Antenna Substrate To Enhance Gain*". Progress In Electromagnetics Research, PIER 51, 2005, pp.295-328.
- [11] Bilotti.F and Sevgi.L, "*Metamaterials: Definitions, Properties, Applications, And FDTD-based Modeling and Simulation*". International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering, Vol.22, No.4, 2012, pp.421-438.
- [12] Saleh.A.S, Arraj.F, Alsheikh Hassan.S, "*A New metamaterial structure design using a fractal distribution of Split Ring Resonator(SRR)*", Tishreen University Journal\_Engineering Sciences Series, Vol.(39), No.(6), 2017, 349\_363.
- [13] Kaur.N, Sivia.J.S and Kumar.M "*SRR and Rectangular Stubs Loaded Novel Fractal Antenna Realization For multiband Wireless Applications*". Wireless Personal Communications, 2021, pp.1-19.

- [14] Gupta.N, Saxena.J, Bhatia.K.S and Dadwal.N "*Design of Metamaterial-Loaded Rectangular Patch Antenna for Satellite Communication Applications*". Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Electrical Engineering, 2018, pp.1-11.
- [15] Sharma.N and Sharma.V "*A journey of antenna from dipole to fractal: A review*". International Journal of Engineering Technology, Vol.6, Issue.2, 2017, pp.317-351.
- [16] Ziboon.H.T and Ali.J.K "*Minkowski Fractal Geometry: An Attractive Choice of Compact Antenna and Filter Designs*". ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, Vol.13, No.21, 2018, pp.8548-8553.
- [17] Krzysztofik.W.J "*Fractal Geometry in Electromagnetics Applications - from Antenna to Metamaterials*". Microwave Review, 2013, pp.3-14.
- [18] Saleh.A.S and Raveu.N "*Transmission Peak At Low Frequencies By A Fractal Distribution of Metamaterials Layers in Free Space*". Microwave and Optical Technology Letters, Vol.49, No.1, 2007, pp.105-109.
- [19] Saleh.A.S, Ahmad.R, "*Analyzing the effect of the Lacunarity on square fractal antenna array*", Tishreen University Journal\_Engineering Sciences Series, Vol.(36), No.(4), 2014, 113\_130.