

تحليل تأثير معامل تغيير أبعاد الفجوات على الهوائيات المصفوفية المربعة التجزئية

الدكتور السموع صالِح*

راما أحمد**

(تاريخ الإيداع 14 / 5 / 2014. قُبِلَ للنشر في 20 / 8 / 2014)

□ ملخّص □

دُرس في هذا البحث تأثير تغيير معامل تغيير أبعاد الفجوات على الخصائص الإشعاعية للهوائيات المصفوفية المربعة التجزئية. وبينت النتائج انخفاض عرض فتحة الإشعاع عند مستوى نصف الاستطاعة مع زيادة معامل تغيير أبعاد الفجوات وذلك بالنسبة للمصفوفة المربعة ذات العناصر الموزعة بشكل تجزئي على المحورين Y&Z.

هذا وقد أدى دمج مفهوم الهندسة التجزئية (التراكيب التجزئية) مع الهوائيات المصفوفية إلى زيادة درجات حرية تصميم هذه الهوائيات، وذلك من خلال إضافة معاملات التركيب التجزئي إلى معاملات التصميم للهوائي المصفوفي المنتظم. الأمر الذي مكّننا من تحسين بعض الخصائص الإشعاعية لهذه الهوائيات. من أهم نتائج هذا الدمج هو التغيير الإيجابي الحاصل في مستوى الوريقات الجانبية، حيث تم في هذا البحث من خلال دراسة تأثير معامل تغيير أبعاد الفجوات وبفرض قيم مختلفة لبقية معاملات التصميم، تم خفض مستوى الوريقات الجانبية في بعض النماذج والحصول على هوائيات تجزئية متعددة الحزم تعتبر نماذج للهوائيات الذكية من جهة أخرى.

الكلمات المفتاحية: درجة التجزيء، البعد التجزئي، معامل تغيير أبعاد الفجوات، الهوائي المصفوفي الخطي التجزئي، الهوائيات المصفوفية المربعة التجزئية، الهوائيات المصفوفية المربعة المنتظمة.

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

** قائم بالأعمال - قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Analyzing the effect of the Lacunarity on square fractal antenna array

Dr. Al samawal Saleh*
Rama Ahmad**

(Received 14 / 5 / 2014. Accepted 20 / 8 / 2014)

□ ABSTRACT □

This research has studied the effect of changing the Lacunarity's value on the radiation characteristics of square fractal antenna arrays. For the array, which has fractal distribution for its elements on both Y and Z axis, the result indicate that the half power beamwidth (HPBW) decrease when the value of Lacunarity increase.

The combination of fractal geometry with antenna array led to increase the freedom degrees of design parameters of this antenna array, by adding the fractal shape's parameters to the regular antenna array's parameters. Which help us to improve some of radiation characteristics of these antennas. One of the most important results of this combination is the advantage of side lobe level (SSL). By the analyzing of the effect of changing the Lacunarity's value and give different values for another antenna design parameters, the level of side lobe decrease in some models and many lobes appear in another models which can be used as smart antenna models.

Keywords: Stage of growth, Fractal dimension, Lacunarity, Linear fractal antenna array , Square fractal antenna array, Square regular antenna array.

*Associate Professor, Department of communication and electronics Engineering, Faculty of Mechanical and electrical Engineering ,Tishreen University ,Lattakia ,Syria.

**Academic Assistant, Department of communication and electronics Engineering, Faculty of Mechanical and electrical Engineering ,Tishreen University ,Lattakia ,Syria.

مقدمة:

تشهد نظم الاتصالات الحديثة تطوراً سريعاً وملموساً، والذي بدوره يتطلب تطوير الهوائيات المستخدمة في هذه النظم. يتم تصميم الهوائي للائم متطلبات نظام الاتصال من حيث حجمه وعرض فتحة الإشعاع والاتجاهية وغيرها من الخصائص الإشعاعية. تعتمد معظم الهوائيات المستخدمة حالياً في بنيتها على الهندسة الإقليدية، أهمها الهوائيات الخطية والدائرية والكروية. من جانب آخر نجد الهوائيات التجزئية الحديثة التي تعتمد في توصيف بنيتها على الهندسة التجزئية، وهي الهندسة الأكثر شمولاً والتي تستطيع توصيف أجسام لا يمكن توصيفها بشكل دقيق في الهندسة الإقليدية منها الجبال والأشجار والغيوم وأمواج البحر والتي تتميز بخاصية التشابه الداخلي [1].

درست الهوائيات المصفوفية المنتظمة بشكل دقيق، وتم تحديد العوامل اللازمة لتصميم هذا النوع من الهوائيات: المسافة الفاصلة بين العناصر و مطال وطور تيار التغذية بالإضافة الى نوع عنصر المصفوف. لوحظت محدودية بارومترات التصميم لهذه الهوائيات مما أدى الى ادخال مفهوم التراكيب أو الأجسام التجزئية في تصميمها لأن بنية الجسم التجزئي تزيد من عدد معاملات تصميم الهوائي، وبذلك تزيد من عدد درجات الحرية في تصميم الهوائيات المصفوفية عن طريق تحليل العلاقة بين هذه المعاملات والخصائص الإشعاعية للهوائي مما يسمح بتصميم الهوائي المطلوب لتطبيق ما و بدقة كبيرة [2].

أهمية البحث وأهدافه:

تعتبر الهوائيات المصفوفية المربعة المنتظمة من الهوائيات الواسعة الاستخدام، لما تتميز به من عرض فتحة اشعاع ضيقة و ربح عالي و اتجاهية عالية ونطاق ترددي عريض مقارنة مع الهوائيات وحيدة العنصر. إلا إن محدودية معاملات التصميم دفع الباحثين الى البحث عن طرق جديدة لرفع سوية هذا النوع من الهوائيات. البحث المعروض يقدم نموذج جديد من الهوائيات المصفوفية المربعة التجزئية بثلاثة أشكال دارساً تأثير أحد أهم معاملات التصميم لهذا النوع من الهوائيات وهو معامل تغيير أبعاد الفجوات الذي تبين تأثيره الايجابي على الخصائص الاشعاعية للهوائيات التجزئية مقارنة مع بقية معاملات التصميم.

طرائق البحث ومواده :**1- الجسم التجزئي:**

تستخدم الهندسة التجزئية لوصف أشكال في الطبيعة تتميز بخاصية التشابه الداخلي تعرف بأنها أجسام تجزئية. مثل هذه الأجسام لا يمكن وصفها باستخدام الهندسة الإقليدية وانما كانت تقرب الى الأشكال المعروفة مثل الجبال والغيوم أو أوراق الأشجار التي تقرب عادة إلى شكل مخروط أو كرة [3],[4].

يوصف الجسم التجزئي بثلاث معاملات [6],[5],[4] وهي:

1- البعد التجزئي (D) Fractal dimension :

هو عدد ليس صحيحاً كما في الهندسة الإقليدية و يعبر عنه بالعلاقة التالية :

$$D = \frac{\log(N)}{\log(1/\rho)}$$

حيث N تمثل عدد القطع الموجودة في الجسم التجزئي، ρ معامل التقسيم .

2- درجة التجزيء (S) Stage of growth

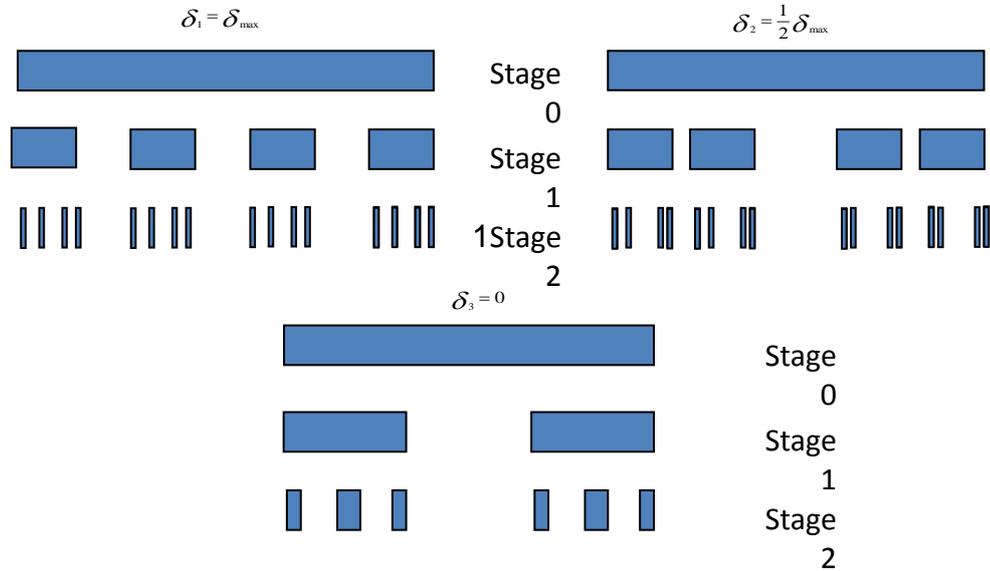
تعتبر درجة التجزئة عن درجة التكرار التي من خلالها نحصل على الجسم التجزئي . حيث يعتبر الجسم الموافق لـ $S=0$ هو العنصر الأساسي للجسم التجزئي، وعندما $S=1$ يعتبر الشكل الموافق لهذه الدرجة العنصر المولد للجسم التجزئي . وتكون كل الأبعاد والقيم الموافقة لدرجة التجزئة S هي نفس الأبعاد والقيم الموافقة لدرجة التجزئة $S=1$ ولكن مضروبة بمعامل التقسيم ρ .

هذا ويجب الإشارة الى أن البعد التجزئي يملك قيمة ثابتة من أجل أي درجة تجزئة.

3- معامل تغيير توزيع كثافة مادة الجسم التجزئي أو معامل تغيير أبعاد الفجوات Lacunarity :

يعبر عن توزيع الفراغات داخل الجسم التجزئي. وبتعبير آخر يمثل كثافة مادة الجسم التجزئي الموجود ضمن دائرة ما ذات قطر R وفي حالتنا فإن هذا القطر يتغير من 0 الى γ_{max} ، ومنه نعتبر أن حالة Low Lacunarity تكافئ γ_{max} ، وحالة High Lacunarity تكافئ $\gamma = 0$.

يوضح الشكل (1) جسم تجزئي بطول L من أجل درجات التجزئة الثلاث الأولى وثلاث قيم لمعامل تغيير أبعاد الفجوات δ حيث البعد التجزئي $D = \log(4)/\log(7)$ [5].

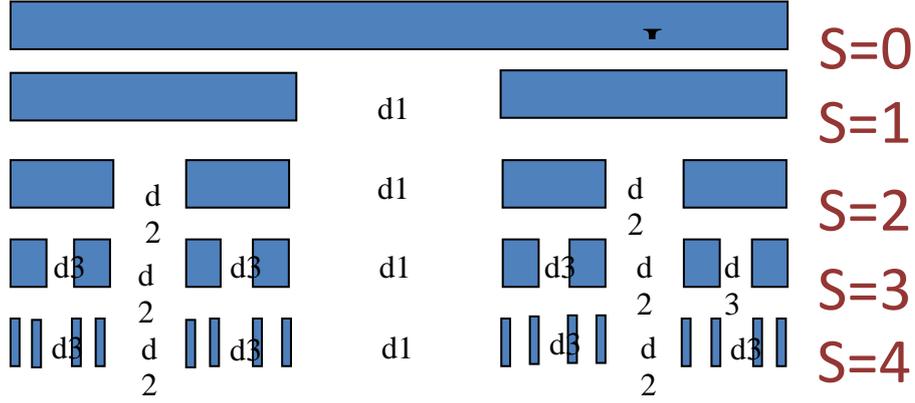


الشكل (1) درجات التجزئة الأولى للجسم التجزئي حيث $D=0.7124$ من أجل قيم مختلفة لمعامل تغيير أبعاد الفجوات

2 - الهوائي الخطي التجزئي ذو N عنصر ، منتظم التغذية [7] :

بالنسبة لهذا النوع من الهوائيات التجزئية تكون المسافة بين عناصر الهوائي غير متساوية وإنما محكومة بالبعد التجزئي D المختار وكذلك درجة التجزئة S ومعامل تغيير أبعاد الفجوات δ .

في دراستنا هذه نعتمد التوزيع الكانتوري الموضح في الشكل (2) ، فإذا اخترنا المرتبة الثانية فما فوق لدرجة التجزئة فسيكون لدينا عدد عناصر الهوائي مساوية الى N^S عنصر وأصغر مسافة بين العناصر هي $d_{min} = \rho^S \cdot L$ ، أما أكبر مسافة فهي $d_{max} = \rho \cdot L$ حيث L يعبر عن الطول الكلي للجسم التجزئي والذي يعبر عن طول الهوائي ، ρ هي معامل التقسيم الذي يمكن تغييره وبالتالي تغيير المسافات بين عناصر الهوائي .



الشكل (2) الجسم التجزيئي بطول L من أجل درجات التجزيء الأربعة الأولى وقيمة البعد التجزيئي

$$D = \frac{\log(N)}{\log(1/\rho)} = \frac{\log(2)}{\log(3)} = 0.63$$

بفرض أن الجسم التجزيئي المدروس والموضح في الشكل (2) ذو بعد تجزيئي يعطى بالعلاقة التالية :

$$D = \frac{\log(N)}{\log(1/\rho)} = \frac{\log(2)}{\log(3)} = 0.63$$

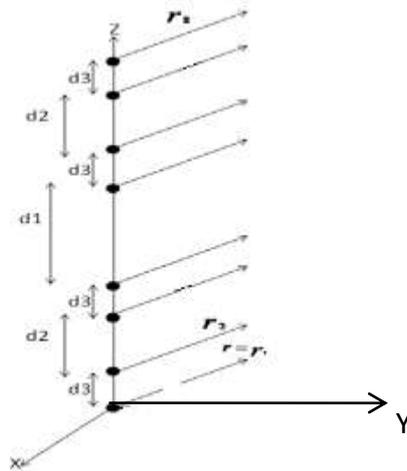
ودرجة التجزيء $S=3$ ، بالتالي سيكون لدينا ثلاث مسافات مختلفة تبدأ بـ $d_3 = d_{\min} = \rho^S L = \frac{1}{27} L$

و $d_2 = \rho^{S-1} L = \frac{1}{9} L$ وأخيراً المسافة الكبرى بين العناصر وهي $d_1 = \rho^{S-2} L = \frac{1}{3} L$.

باعتبار الجسم التجزيئي السابق و الموافق لدرجة التجزيء $S=3$ يمثل عناصر الهوائي الخطي التجزيئي

المتوضعة على المحور Z كما هو مبين في الشكل (3).

عندها لحساب الحقل الكهربائي الكلي الناتج عن هذا الهوائي في منطقة المجال البعيد نستخدم نفس الطريقة المستخدمة في حساب حقل الهوائي الخطي منتظم المسافات والتغذية والموضحة في [8]، ولكن سيختلف معنا هنا حساب بعد كل عنصر من عناصر الهوائي عن منطقة الدراسة في الحقل البعيد. مما يعطي هذا النوع من الهوائيات درجة حرية اضافية أثناء التصميم وذلك لأن المسافات بين عناصر الهوائي تتبع الجسم التجزيئي المختار ومعاملات تصميمه.



الشكل (3) الهوائي الخطي التجزيئي ذو الـ N عنصر و الموافق لدرجة التجزيء $S=3$

وبالتالي يعطى الحقل الكهربائي الكلي للهوائي السابق المكون من ثمان عناصر موزعة بشكل تجزيئي ، فرق

صفحة التيار بين كل عنصر والعنصر الذي يليه تساوي α_1 بالعلاقة التالية :

$$E_{\theta_{total}} = E_{\theta} \cdot [1 + e^{j(\beta d_3 \cos \theta + \alpha_1)} + e^{j(\beta(d_3+d_2) \cos \theta + 2\alpha_1)} + \dots + e^{j(\beta(4d_3+2d_2+d_1) \cos \theta + 7\alpha_1)}]$$

$$= E_{\theta} \cdot AF_{fz}$$

حيث أن AF_{fz} معامل المصفوف للهوائي الخطي التجزئي المتوضع على المحور Z ويختلف عن نظيره في المصفوف المنتظم باختلاف المسافات بين العناصر .

3- الهوائيات المصفوفية المربعة التجزئية :

استخدام التراكيب التجزئية في تصميم الهوائيات المصفوفية المربعة يمنحنا مجالاً واسعاً من الخيارات لتصميمها بعدة أشكال ، حيث نشكل ثلاث مصفوفات تملك نفس الحجم وتختلف عن بعضها من حيث توزيع العناصر وهي :

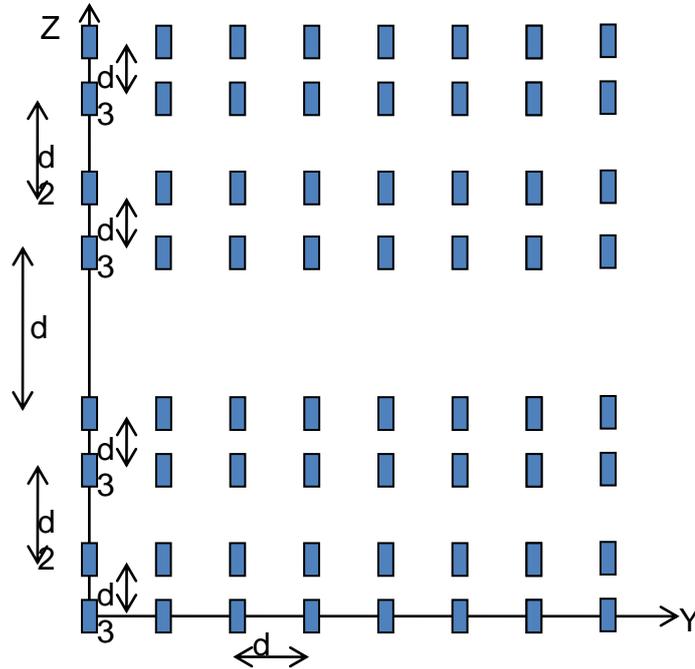
1- المصفوفة الأولى : العناصر موزعة بشكل منتظم على المحور Y وبشكل تجزئي على المحور Z.

2- المصفوفة الثانية : العناصر موزعة بشكل منتظم على المحور Z وبشكل تجزئي على المحور Y.

3- المصفوفة الثالثة : العناصر موزعة بشكل تجزئي على كلا المحورين Y&Z.

وكما هو الحال في المصفوفة المربعة المنتظمة ، يعطى معامل المصفوف الكلي بأنه حاصل جداء معامل المصفوف للهوائي الخطي المتوضع على المحور Z مضروباً بمعامل المصفوف للهوائي الخطي المتوضع على المحور Y [9].

❖ الحالة الأولى :توزع عناصر المصفوفة المربعة بشكل منتظم على المحور Y وبشكل تجزئي على المحور Z كما هو مبين في الشكل (4) .



الشكل (4) المصفوفة المربعة ذات العناصر الموزعة بشكل منتظم على المحور Y وبشكل تجزئي على المحور Z

يعطى معامل المصفوف الكلي للمصفوفة السابقة بالعلاقة التالية :

$$AF_{total} = AF_{fz} \cdot AF_y$$

حيث AF_{fz} معامل المصفوف الخطي التجزئي المتوضع على المحور Z.

و AF_y معامل المصفوف الخطي المنتظم المتوضع على المحور Y والموضح في العلاقة التالية [8] :

$$AF_y = \frac{\sin \frac{N}{2} \psi_2}{\sin \frac{\psi_2}{2}}$$

حيث N : عدد عناصر المصفوفة الخطية.

$$\psi_2 = \beta d \sin(\theta) \cdot \sin(\varphi) + \alpha_2$$

α_2 : فرق صفحة التيار بين كل عنصر والعنصر الذي يليه على المحور Y .

❖ الحالة الثانية :

توزع عناصر المصفوفة المربعة بشكل منتظم على المحور Z وبشكل تجزيئي على المحور Y كما هو مبين في الشكل (5) .

و يعطى معامل المصفوف الكلي بالعلاقة الآتية :

$$AF_{total} = AF_z \cdot AF_{fy}$$

حيث AF_z معامل المصفوف الخطي المنتظم المتوضع على المحور Z والمعطى بالعلاقة التالية [8] :

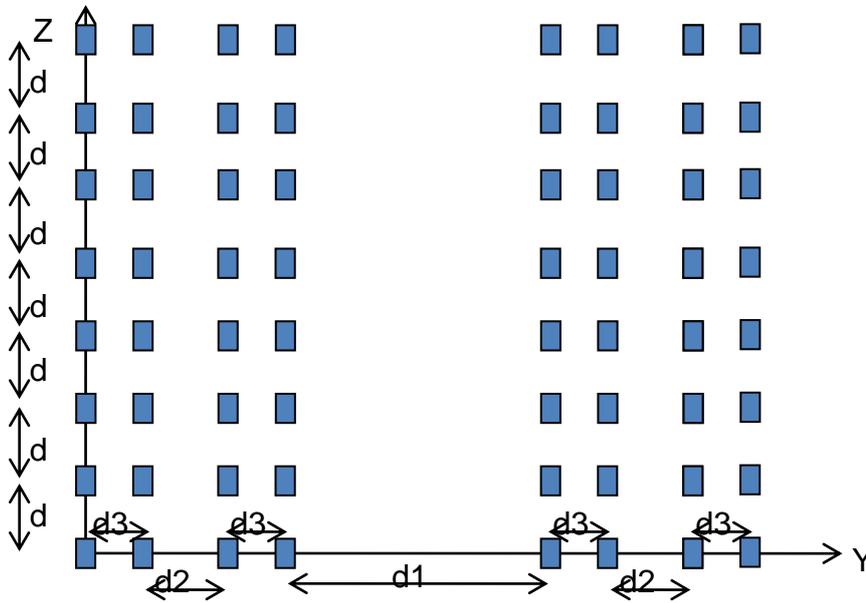
$$AF_z = \frac{\sin \frac{N}{2} \psi_1}{\sin \frac{\psi_1}{2}}$$

حيث $\psi_1 = \beta d \cdot \cos\theta + \alpha_1$:

α_1 : فرق صفحة التيار بين كل عنصر والعنصر الذي يليه على المحور Z .

و AF_{fy} معامل المصفوف الخطي التجزيئي المتوضع على المحور Y والمعطى بالعلاقة التالية :

$$AF_{fy} = [1 + e^{j(\beta d_3 \cdot \sin(\theta) \cdot \sin(\varphi) + \alpha_2)} + e^{j(\beta(d_3+d_2) \sin(\theta) \cdot \sin(\varphi) + 2 \cdot \alpha_2)} + \dots + e^{j(\beta(4d_3+2d_2+d_1) \sin(\theta) \cdot \sin(\varphi) + 7 \cdot \alpha_2)}]$$



الشكل (5) المصفوفة المربعة ذات العناصر الموزعة بشكل منتظم على المحور Z وبشكل تجزيئي على المحور Y

❖ الحالة الثالثة :

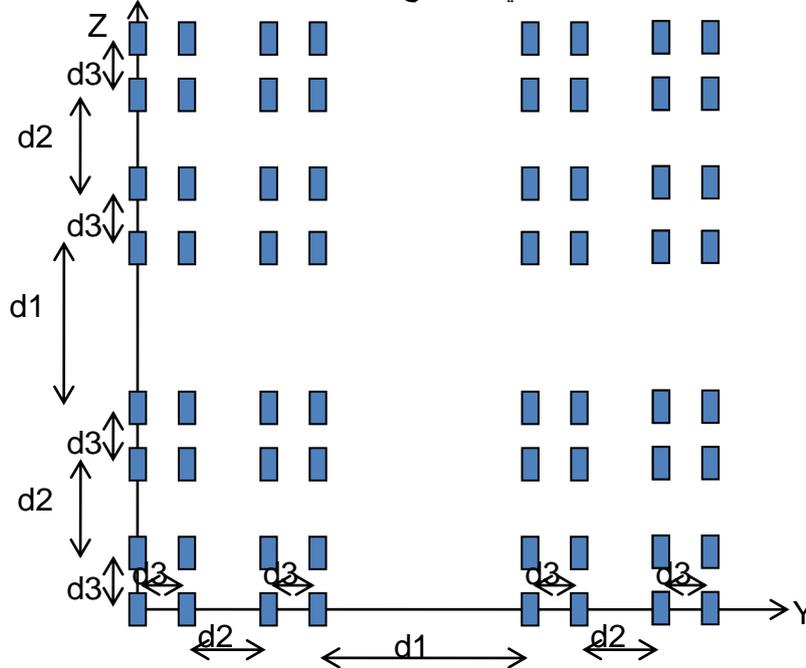
توزع عناصر المصفوفة المربعة بشكل تجزيئي على كلا المحورين Y و Z كما هو مبين في الشكل (6).

ويعطى معامل مصفوفها بالعلاقة الآتية :

$$AF_{total} = AF_{fz} \cdot AF_{fy}$$

حيث AF_{fz} معامل المصفوف الخطي التجزئي المتوضع على المحور Z.

و AF_{fy} معامل المصفوف الخطي التجزئي المتوضع على المحور Y.



الشكل (6) المصفوفة المربعة ذات العناصر الموزعة بشكل تجزئي على المحورين Y&Z

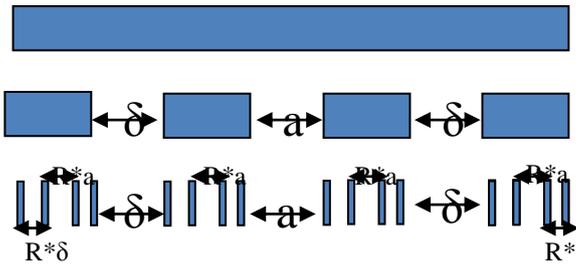
ولدراسة تأثير تغيير معامل تغيير أبعاد الفجوات (δ) على الخصائص الإشعاعية للهوائيات المصفوفية السابقة

فإنه يمثل بالمسافة الفاصلة بين أقصى عنصرين من الجسم التجزئي الموافق لدرجة التجزئ $S=1$.

أي إنه بالنسبة للجسم التجزئي الموضح في الشكل (2) فإن المسافة d_1 تمثل معامل تغيير أبعاد الفجوات. أما

بالنسبة للجسم التجزئي المكون من أربع عناصر عند درجة التجزئ الأولى والموضح في الشكل (7) فإن معامل

تغيير أبعاد الفجوات δ يمثل كما هو مبين في الشكل.



الشكل (7) معامل تغيير أبعاد الفجوات δ بالنسبة للجسم التجزئي المكون من أربع عناصر عند $S=1$

النتائج والمناقشة :

تم في هذا البحث دراسة تأثير تغيير معامل تغيير أبعاد الفجوات على الخصائص الإشعاعية للهوائيات المربعة

التجزئية الثلاث المدروسة ونقارن النتيجة مع نظيرتها الهوائيات المصفوفية المنتظمة .

نمذجت الهوائيات المصفوفية المربعة التجزئية من خلال برنامج بلغة الماتلاب يحلل العلاقة بين معاملات التصميم والخصائص الإشعاعية لهذه الهوائيات .

سنفرض في دراستنا أن نوع عنصر المصفوفة هو ثنائي قصير كهربائياً، مطال التيار ذو قيمة ثابتة $I = 1$.

α_1 : فرق صفحة التيار بين كل عنصر والعنصر الذي يليه على المحور Z.

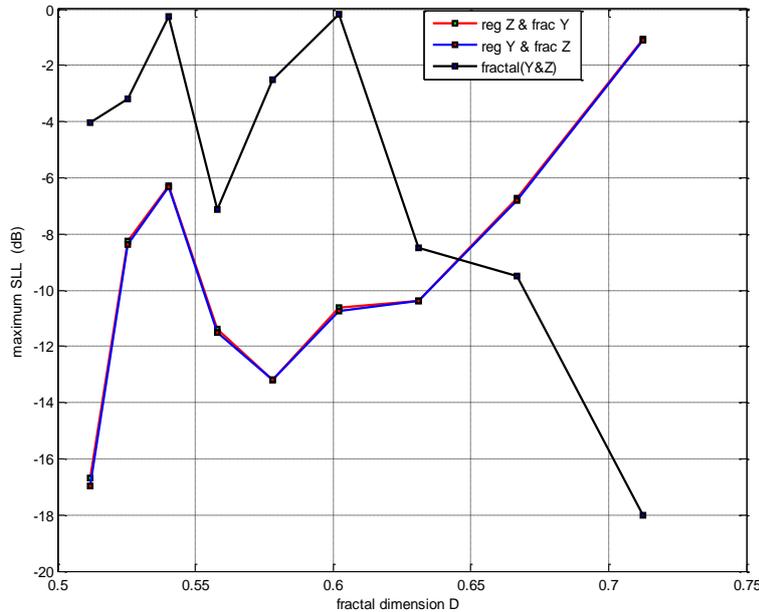
α_2 : فرق صفحة التيار بين كل عنصر والعنصر الذي يليه على المحور Y.

ذكرنا في المقدمة أن معاملات الجسم التجزئي ثلاث وهي : درجة التجزيء والبعد التجزئي ومعامل تغيير أبعاد الفجوات ، وكنا بينا في [10] أنه مع زيادة درجة التجزيء يقل عرض فتحة الإشعاع عند مستوى نصف الاستطاعة . ولتوضيح أكثر لتأثير تغيير البعد التجزئي فإن الشكلين (8) و(9) يبينان تأثير تغيير البعد التجزئي على كل من مستوى الوريقات الجانبية وعرض فتحة الإشعاع عند مستوى نصف الاستطاعة على التوالي ، وذلك بالنسبة للهوائيات المربعة التجزئية بأشكالها الثلاث والناجمة عن الجسم التجزئي الموضح في الشكل (7) ومن أجل القيم التالية لمعاملات التصميم :

طول الجسم التجزئي $L = \frac{15*\lambda}{2}$ ، درجة التجزيء $S=2$ ، معامل تغيير أبعاد الفجوات $\delta = \rho . L$ ، المسافة

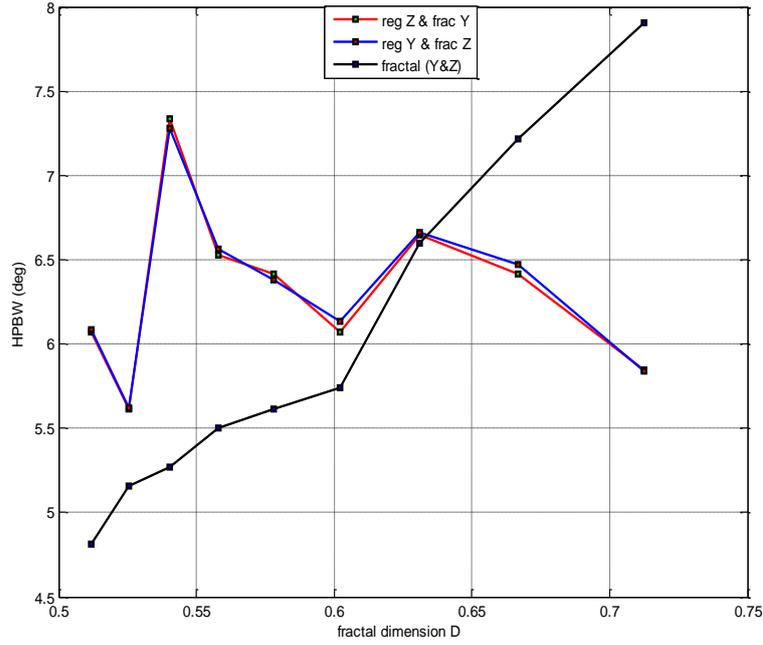
الفاصلة بين العناصر الموزعة بشكل منتظم $d = \lambda/2$ ، فرق الطور $\alpha_1 = \alpha_2 = 0$.

يبين الشكل (8) تغير القيمة العظمى لمستوى الوريقات الجانبية مع تغير البعد التجزئي، حيث نلاحظ من الشكل التقارب في القيم بالنسبة للمصفوفتين المربعيتين ذوات العناصر الموزعة بشكل منتظم على المحور Z وبشكل تجزئي على المحور Y وبالعكس . وهو الأمر نفسه الذي نلاحظه من الشكل (9) الذي يبين تغير عرض فتحة الإشعاع مع تغير البعد التجزئي وذلك مع ملاحظة الزيادة التدريجية لعرض فتحة الإشعاع مع زيادة البعد التجزئي بالنسبة للمصفوفة المربعة ذات العناصر الموزعة بشكل تجزئي على كلا المحورين Y&Z .



الشكل (8) تغير مستوى الوريقات الجانبية مع تغير البعد التجزئي بالنسبة للمصفوفات المربعة التجزئية الثلاث حيث

$$\alpha_1 = \alpha_2 = 0 , d = \lambda/2 , \delta = \rho . L , S=2 , L = \frac{15*\lambda}{2}$$



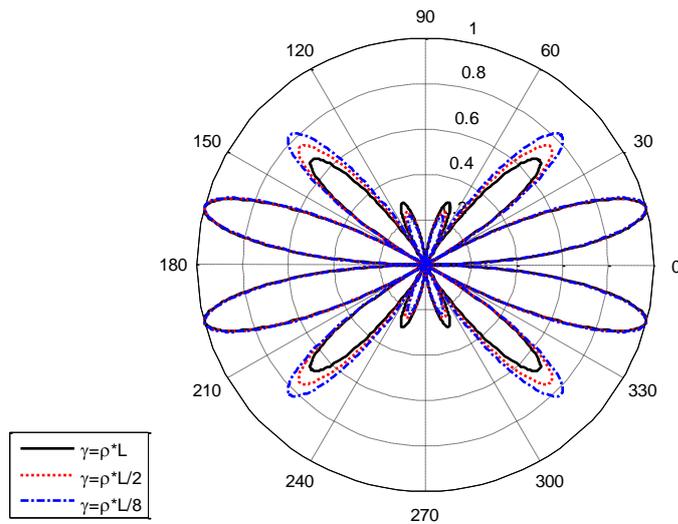
الشكل (9) تغيير عرض فتحة الإشعاع مع تغير البعد التجزئي بالنسبة للمصفوفات المربعة التجزئية الثلاث حيث

$$\alpha_1 = \alpha_2 = 0, \quad d = \lambda/2, \quad \delta = \rho \cdot L, \quad S=2, \quad L = \frac{15 \cdot \lambda}{2}$$

1- تأثير تغير معامل تغيير أبعاد الفجوات على الخصائص الإشعاعية للهوائيات المصفوفية المربعة التجزئية:

ندرس تأثير تغير معامل تغيير أبعاد الفجوات بالنسبة لكل مصفوفة مربعة على حدة وذلك على النحو الآتي :
 ❖ الحالة الأولى : دراسة تأثير معامل تغيير أبعاد الفجوات على المصفوفة المربعة ذات العناصر الموزعة بشكل منتظم على المحور Y وبشكل تجزئي على المحور Z مبينة في الشكل (10).
 تملك البارامترات التالية :

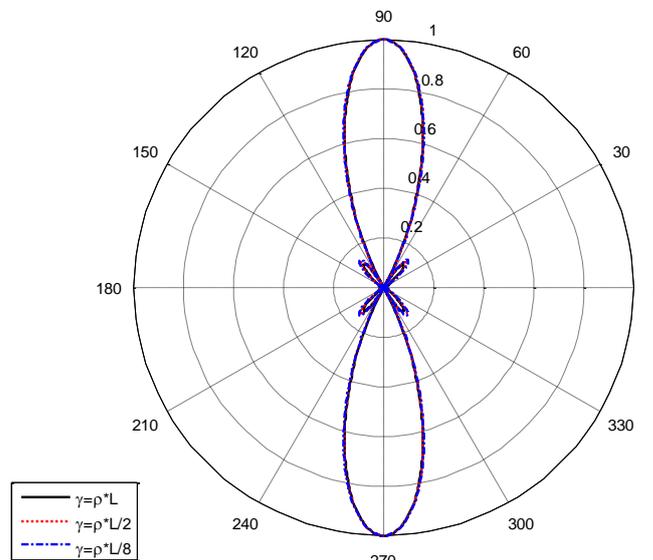
عدد العناصر (4x4)، طول الجسم التجزئي $L = \frac{3 \cdot \lambda}{2}$ ، درجة التجزئ $S=1$ ، البعد التجزئي $D=0.52529$
 $\rho=1/14$ (معامل التقسيم) ،المسافة الفاصلة بين العناصر الموزعة بشكل منتظم $d=\lambda/2$ ،
 فرق الطور $\alpha_1 = \alpha_2 = 0$



الشكل (10)

❖ الحالة الثانية : دراسة تأثير معامل تغيير أبعاد الفجوات على المصفوفة المربعة ذات العناصر الموزعة بشكل منتظم على المحور Z وبشكل تجزيئي على المحور Y مبينة في الشكل (11).
تملك البارامترات التالية:

عدد العناصر (4x4)، طول الجسم التجزيئي $L = \frac{3*\lambda}{2}$ ، درجة التجزيء $S=1$ ، البعد التجزيئي $D=0.52529$ ، المسافة الفاصلة بين العناصر الموزعة بشكل منتظم $d = \lambda/2$ ، فرق الطور $\alpha_1 = \alpha_2 = 0$ ، $(\rho=1/14)$.

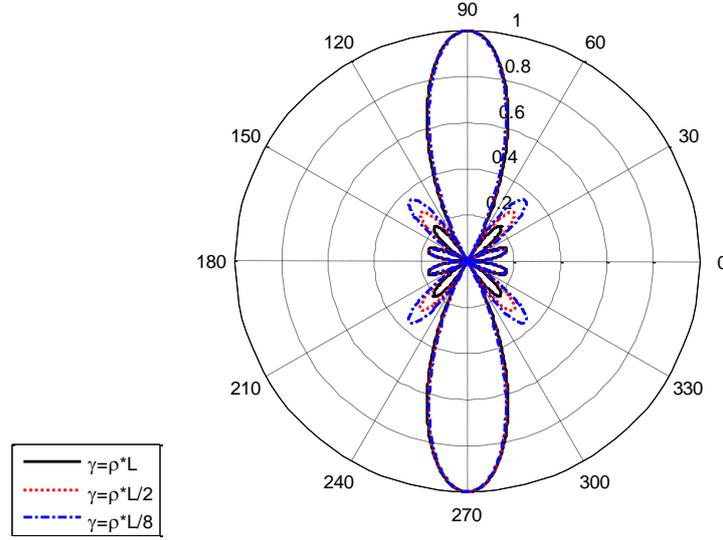


الشكل (11)

❖ الحالة الثالثة : دراسة تأثير معامل تغيير أبعاد الفجوات على المصفوفة المربعة ذات العناصر الموزعة بشكل تجزئي على المحورين (Y&Z) مبينة في الشكل (12).

تملك البارامترات التالية:

عدد العناصر (4x4)، طول الجسم التجزئي $L = \frac{3*\lambda}{2}$ ، درجة التجزئ $S=1$ ، البعد التجزئي $D=0.52529$ ، فرق الطور $\alpha_1 = \alpha_2 = 0$ ، $(\rho=1/14)$



الشكل (12)

نلاحظ من المخططات الإشعاعية الثلاث السابقة (10,11,12) تباين تأثير تغيير معامل تغيير أبعاد الفجوات، حيث تبين في الحالتين الأولى والثانية زيادة عرض فتحة الإشعاع ومستوى الوريقات الجانبية مع زيادة معامل أبعاد الفجوات، النتيجة المعاكسة لما نحصل عليه من الحالة الثالثة للمصفوفة ذات العناصر الموزعة بشكل تجزئي على المحورين Y&Z حيث نلاحظ انخفاض عرض فتحة الإشعاع و زيادة مستوى الوريقات الجانبية مع زيادة معامل تغيير أبعاد الفجوات.

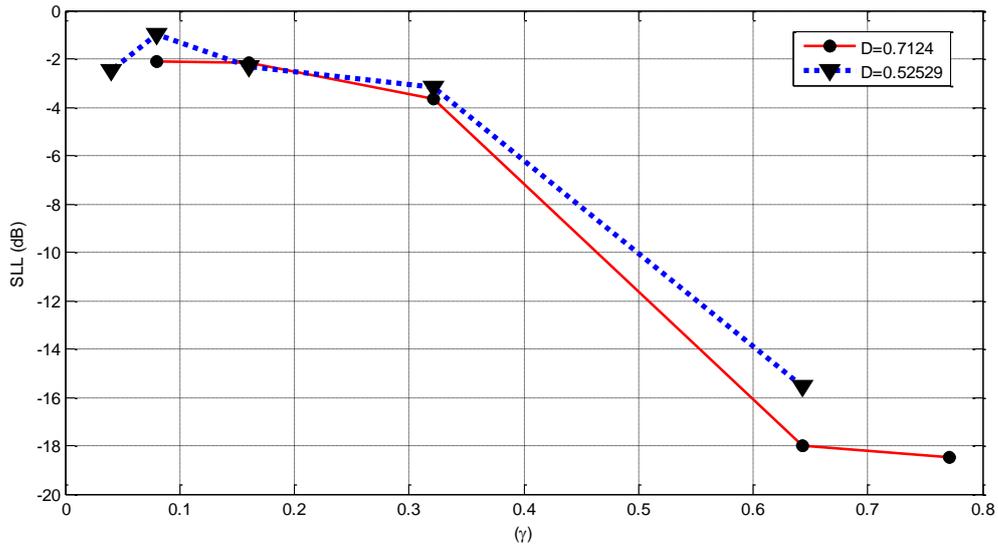
بشكل مشابه ندرس تأثير تغيير معامل تغيير أبعاد الفجوات على كل من مستوى الوريقات الجانبية وعرض فتحة الإشعاع عند مستوى نصف الاستطاعة للمصفوفة المربعة التجزئية ذات العناصر الموزعة بشكل تجزئي على كلا المحورين والنتيجة عن الجسم التجزئي الموضح في الشكل (7)، ويفرض قيمتين مختلفتين للبعد التجزئي :

$$D=0.52529 \left(\rho = \frac{1}{14}\right) \text{ ، والثانية } D=0.7124 \left(\rho = \frac{1}{7}\right)$$

وقيم بقية معاملات التصميم تعطى على النحو الآتي:

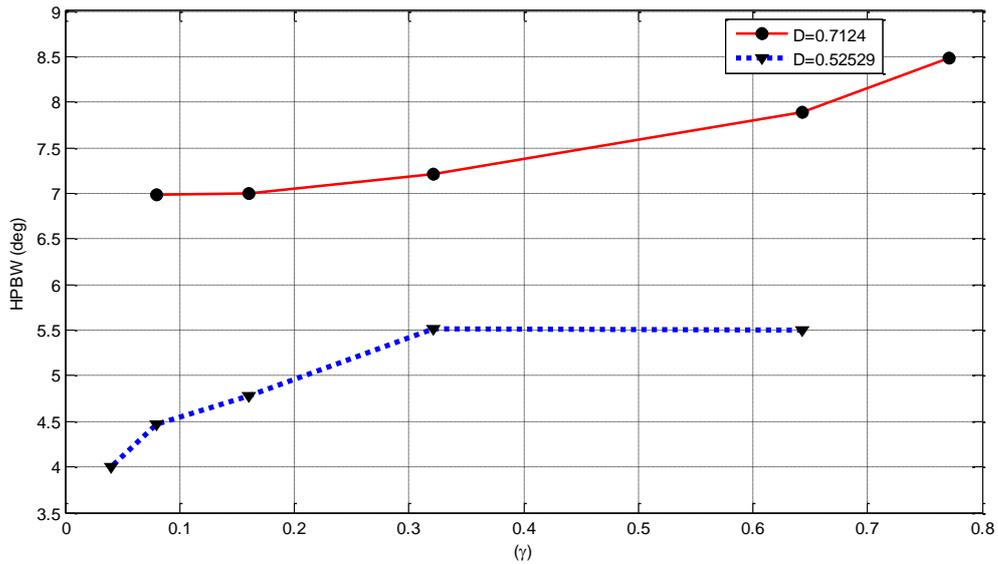
$$\text{طول الجسم التجزئي } L = \frac{15*\lambda}{2} \text{ ، درجة التجزئ } S=2 \text{ ، فرق الطور } \alpha_1 = \alpha_2 = 0$$

نلاحظ من الشكل (13) الذي يبين تغير القيمة العظمى لمستوى الوريقات الجانبية مع تغيير معامل تغيير أبعاد الفجوات ، نلاحظ زيادة مستوى الوريقات الجانبية مع زيادة معامل تغيير أبعاد الفجوات . في حين نلاحظ من الشكل (14) انخفاض عرض فتحة الإشعاع عند مستوى نصف الاستطاعة مع زيادة معامل تغيير أبعاد الفجوات وذلك بالنسبة لكلا البعدين التجزئيين المفروضين.



الشكل (13) تغير مستوى الوريقات الجانبية مع تغير معامل تغيير أبعاد الفجوات بالنسبة للمصفوفة المربعة التجزئية (Y&Z) حيث

$$\alpha_1 = \alpha_2 = 0, S=2, L = \frac{15*\lambda}{2}$$



الشكل (14) تغير عرض فتحة الإشعاع مع تغير معامل تغيير أبعاد الفجوات بالنسبة للمصفوفة المربعة التجزئية (Y&Z) حيث

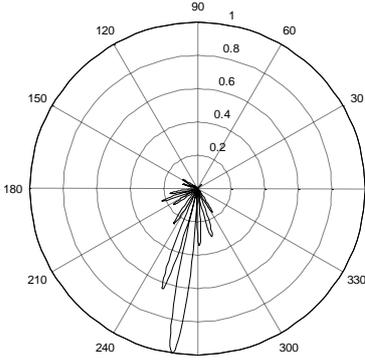
$$\alpha_1 = \alpha_2 = 0, S=2, L = \frac{15*\lambda}{2}$$

من جهة ثانية لا بد من الإشارة الى عدد درجات الحرية الكبير الذي يؤمنه لنا تغير معامل تغيير أبعاد الفجوات، حيث يوجد لدينا من أجل المصفوفة ذات العناصر الموزعة بشكل تجزئي على كلا المحورين تسع حالات مختلفة لقيم هذا البارامتر (ثنائيات بين حالاته الثلاث : منخفض ، متوسط ، مرتفع)، بحيث تختلف أو تتساوى قيمته بالنسبة للعناصر الموزعة على المحور Z عن قيمته بالنسبة للعناصر الموزعة على المحور Y، وذلك من أجل قيم ثابتة لبقية البارامترات.

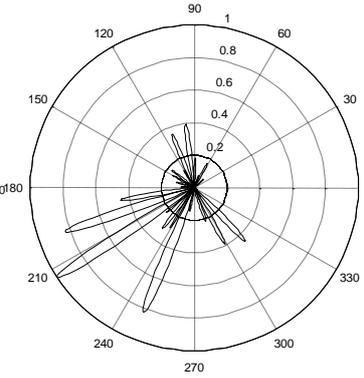
يبين لنا الشكل (15) المخططات الإشعاعية الموافقة لقيم معامل تغيير أبعاد الفجوات المختلفة بين المحورين Y&Z وذلك بالنسبة لمصفوفة تجزئية تملك البارامترات التالية :

$$D=0.6021, S=2, L=15*\lambda/2, d=\lambda/2, \alpha_1 = \frac{\pi}{3}, \alpha_2 = \frac{\pi}{6}$$

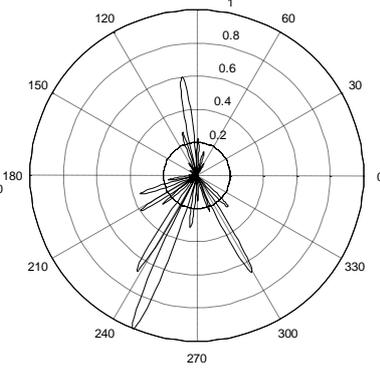
$$\delta_y = \rho * L, \delta_z = \rho * L$$



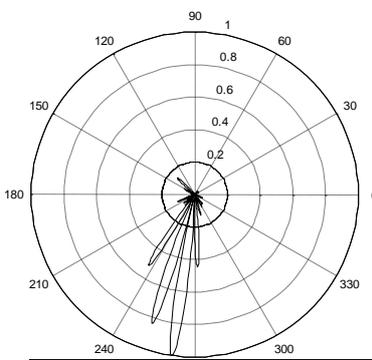
$$\delta_y = \frac{\rho * L}{2}, \delta_z = \rho * L$$



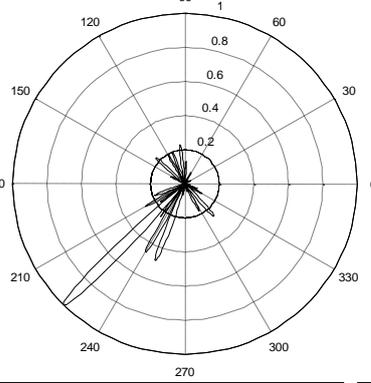
$$\delta_y = \frac{\rho * L}{8}, \delta_z = \rho * L$$



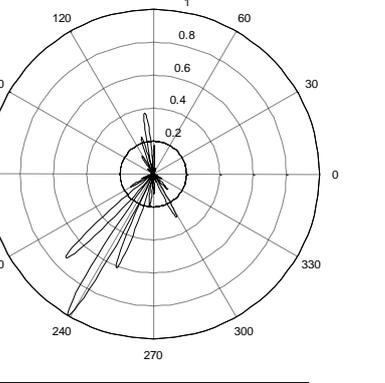
$$\delta_y = \rho * L, \delta_z = \frac{\rho * L}{2}$$



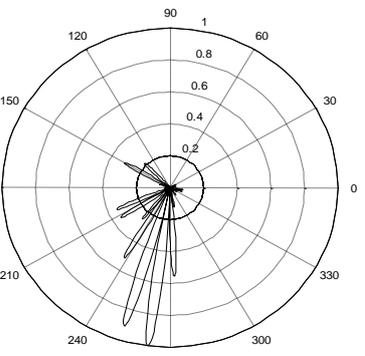
$$\delta_y = \frac{\rho * L}{2}, \delta_z = \frac{\rho * L}{2}$$



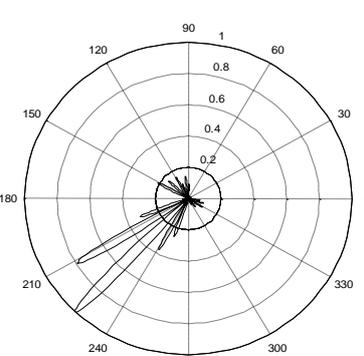
$$\delta_y = \frac{\rho * L}{8}, \delta_z = \frac{\rho * L}{2}$$



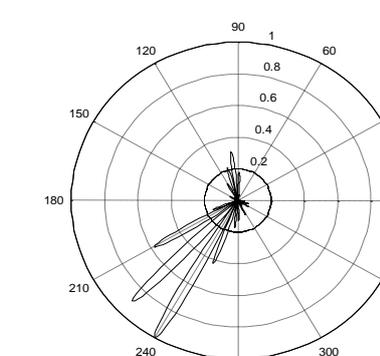
$$\delta_y = \rho * L, \delta_z = \frac{\rho * L}{8}$$



$$\delta_y = \frac{\rho * L}{2}, \delta_z = \frac{\rho * L}{8}$$



$$\delta_y = \frac{\rho * L}{8}, \delta_z = \frac{\rho * L}{8}$$

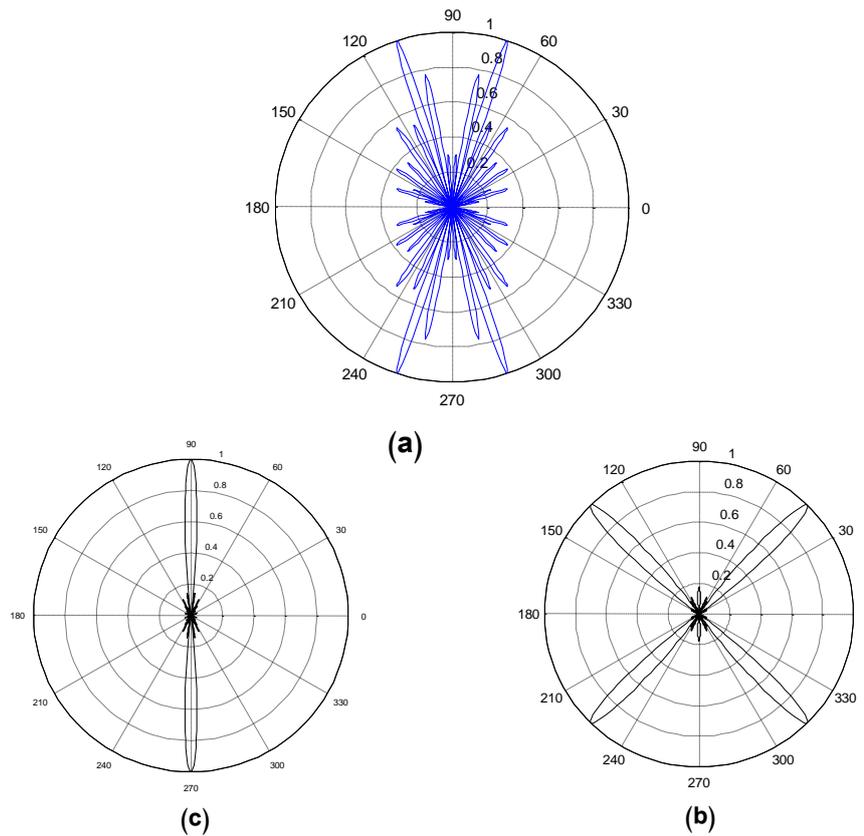


الشكل (15) تغيير مستوى الوريقات الجانبية من خلال تغير قيمة معامل تغيير أبعاد الفجوات بين المحورين Y&Z وذلك من أجل قيم ثابتة لبقية البارامترات

2- مقارنة بين المخططات الإشعاعية للهوائيات المصفوفية المربعة المنتظمة والهوائيات التجزئية:

من خلال التحليل السابق لتأثير تغيير معاملات تصميم الهوائيات التجزئية بأشكالها الثلاث على المخططات الإشعاعية لهذه الهوائيات ، نقدم في هذا الجزء مقارنة بين الهوائيات المصفوفية المنتظمة والهوائيات المصفوفية التجزئية التي تملك نفس عدد العناصر ونفس قيم معاملات التصميم المشتركة مع الهوائيات المنتظمة. الشكل (16) يمثل المخططين الإشعاعيين لمصفوفتين منتظمة وأخرى تجزئية، و تملكان القيم التالية لمعاملات التصميم :

$$\alpha_1 = \alpha_2 = 0 , d = \frac{\lambda}{2} \delta = \rho * L, S=2, , L=15*d , (16 \times 16) \text{ عدد العناصر}$$



الشكل (16) المخططات الإشعاعية للمصفوفتين المنتظمة والتجزئية (Y&Z) من أجل عدد عناصر (16x16)

-a المصفوفة المنتظمة $d = \frac{\lambda}{2}$ ، $\alpha_1 = \alpha_2 = 0$.

-b المصفوفة التجزئية fractal(Y&Z) : $\delta = \rho * L$ ، $D=0.7124$.

-c المصفوفة التجزئية regular on Z & fractal on Y : $\delta = \rho * L$ ، $D=0.5119$.

من خلال الشكل السابق نلاحظ نقصان مستوى الوريقات الجانبية في المصفوفة المنتظمة من خلال إعادة توزيع عناصرها بشكل تجزئي على المحورين Y&Z وذلك بفرض قيمة البعد التجزئي $D=0.7124$ كما هو مبين في الشكل (16-b)، إلا أنه لا بد من الإشارة الى الزيادة البسيطة في عرض فتحة الإشعاع عند مستوى نصف الاستطاعة . الأمر الذي من الممكن التعاضى عنه باعتبارنا الهوائي التجزئي السابق قد يمثل نموذج لهوائي ذكي أفضل منه مقارنة مع المصفوف المنتظم المرافق، ويمكن من الأخير الحصول على هوائي بوريفتين أساسيتين فقط من خلال إعادة توزيع

عناصره بشكل منتظم على المحور Z وبشكل تجزئي على المحور Y. النتيجة نفسها نحصل عليها من خلال إعادة توزيع عناصر مصفوفة مربعة منتظمة (8x8) المسافة الفاصلة بين عناصرها $d = \frac{\lambda}{2}$ ، $\alpha_1 = \alpha_2 = 0$ ، لتشكل مصفوفة تجزئية عناصرها موزعة بشكل منتظم على المحور Y وبشكل تجزئي على المحور Z وتملك البارامترات التالية :

$$D=0.63, S=3, L=7*d, \delta = \rho * L ; \rho = \frac{1}{3}$$

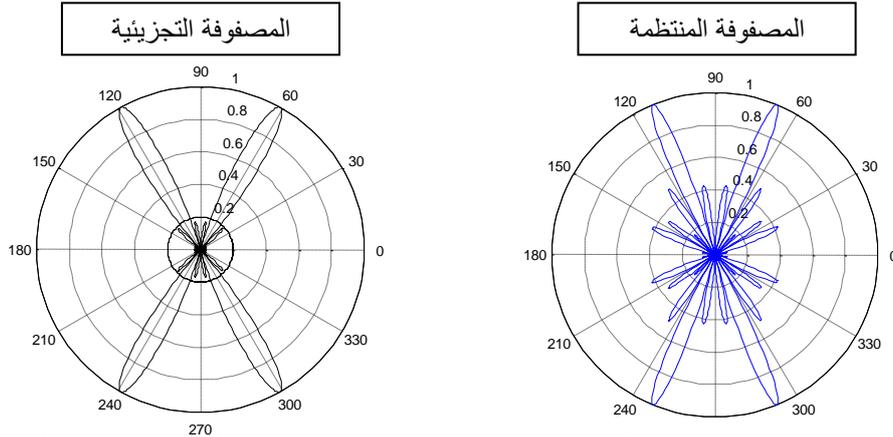
كما هو مبين في الشكل (17).

النتيجة نفسها مبينة في الشكل (18) الذي يمثل المخطط الإشعاعي لهوائي مصفوفي منتظم (16x16) المسافة الفاصلة بين عناصرها $d = \frac{\lambda}{2}$ ، $\alpha_1 = \frac{\pi}{3}$ ، $\alpha_2 = \frac{\pi}{6}$ ، وآخر لهوائي مصفوفي تجزئي عناصره موزعة بشكل تجزئي على المحورين Y&Z وتملك البارامترات الآتي :

$$D=0.7124, S=2, L=\frac{15*\lambda}{2}, \delta = \rho * L ; \rho = \frac{1}{7}$$

وإذا كان المراد تصميم هوائي ذو عرض فتحة إشعاع منخفضة ونسبة وريقات جانبية منخفضة أيضا لاستخدامه في نظم الرادار، فإن الشكل (19) يبين المخطط الإشعاعي ومعامل المصفوف لهوائي مصفوفي تجزئي تم توزيع عناصره بشكل منتظم على المحور Z وبشكل تجزئي على المحور Y من أجل القيم التالية لبارامترات التصميم : درجة التجزئة S=4، البعد التجزئي $(\rho = \frac{1}{5})$ ، $D=0.4307$ ، المسافة الفاصلة بين العناصر الموزعة بشكل منتظم $d = \frac{\lambda}{2}$ ، معامل تغيير أبعاد الفجوات $\delta = 2 * \rho * L$ حيث L طول الجسم التجزئي $L=15*d$ ، $\alpha_1 = \frac{\pi}{3}$ ، $\alpha_2 = \frac{\pi}{6}$.

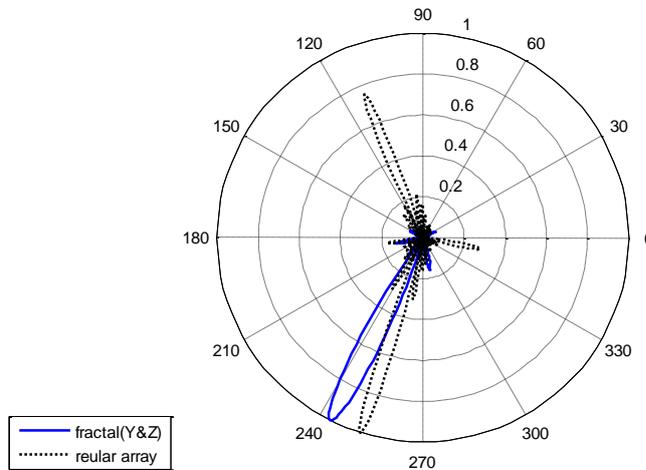
حيث نحصل من البنية السابقة للهوائي المصفوفي المربعي على مخطط إشعاعي بوريفة رئيسة واحدة، عرض فتحة الإشعاع عند مستوى نصف الاستطاعة $HPBW = 6.19^\circ$ ، نسبة الأوراق الجانبية $(R = 12.65 \text{ dB})$.



الشكل (17) المخططان الإشعاعيان للمصفوفة المربعة المنتظمة (8x8) وللمصفوفة التجزئية ذات العناصر الموزعة بشكل منتظم

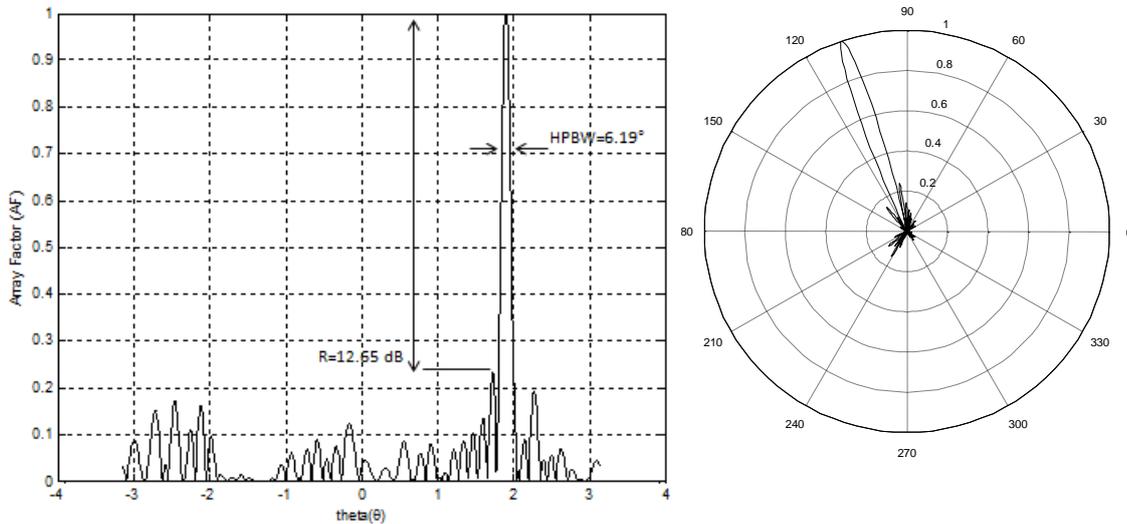
على المحور Y وبشكل تجزئي على المحور Z وتملك البارامترات الآتي :

$$D=0.63, S=3, L=7*d, \delta = \rho * L ; \rho = \frac{1}{3}$$



الشكل (18) المخططان الإشعاعيان للمصفوفة المربعة المنتظمة (16x16) وللمصفوفة التجزئية ذات العناصر الموزعة بشكل تجزئي على المحورين Y&Z وتملك البارامترات التالية :

$$D=0.7124, S=2, L=15*d, \alpha_1 = \frac{\pi i}{3}, \alpha_2 = \frac{\pi i}{6}, \delta = \rho * L; \rho = \frac{1}{7}$$



الشكل (19) المخطط الإشعاعي ومعامل المصفوف لهوائي مصفوفي تجزئي تم توزيع عناصره بشكل منتظم على

المحور Z وبشكل تجزئي على المحور Y من أجل القيم التالية لبارامترات التصميم

$$\alpha_1 = \frac{\pi i}{3}, \alpha_2 = \frac{\pi i}{6}, \delta = 2 * \rho * LL=15*d, d=\frac{\lambda}{2}, D=0.4307, S=4$$

وذلك نجد ما تؤمنه لنا الهوائيات المصفوفية التجزئية من تغيير في الخصائص الإشعاعية أكثر فعالية مقارنة مع المصفوفة المنتظمة التي تملك نفس عدد العناصر والحجم ، الأمر الذي يمكننا من تصميم الهوائي المطلوب ليلائم تطبيق ما و بدقة أكبر.

الاستنتاجات والتوصيات:

درس هذا البحث تأثير تغيير معامل تغيير أبعاد الفجوات (Lacunarity) على الخصائص الإشعاعية للهوائيات المصفوفة المربعة التجزئية الثلاث . وبينت النتائج التي حصلنا عليها انخفاض عرض فتحة الإشعاع عند مستوى نصف الاستطاعة مع زيادة معامل تغيير أبعاد الفجوات وذلك بالنسبة للمصفوفة المربعة ذات العناصر الموزعة بشكل تجزئي على كلا المحورين Y&Z . من جهة أخرى تم الحصول على هوائيات مربعة تجزئية تعتبر نموذجاً للهوائيات الذكية من خلال فرض قيم مختلفة لمعاملات التصميم ومن ضمنها معامل تغيير أبعاد الفجوات ، و تمكنا من تخفيض مستوى الوريقات الجانبية مقارنة مع المصفوفة المنتظمة التي تملك نفس الحجم ونفس عدد العناصر .

أنواع أخرى من الهوائيات المصفوفة التجزئية سندرسه في مقالات لاحقة آخذين بعين الاعتبار وجود عنصر مركزي في بنية الجسم التجزئي عند $S=1$ ومحاولين التقليل من عدد العناصر المستخدمة في تصميم المصفوفة التجزئية مقارنة مع المصفوفة المنتظمة ، الأمر الذي يحسن الخصائص الإشعاعية ويزيد الريح الاتجاهي ويقلل من تكلفة التصنيع.

المراجع :

- [1] WERNER, D.H, GANGULY, S. *An Overview of Fractal Antenna Engineering Research*. IEEE Antenna's and Propagation Magazine, Vol. 45, No. 1 , February 2003, 38-57.
- [2] RAVEU, N, AUBERT, H, LEGAY, H. *Number of elements in polyadic cantor arrays for Tx-band satellite applications* , IEEE AP-S International Symposium, Washington , USA, Vol.1B, 3-8 July 2005 , 782-785.
- [3] GIANVITTORIO, J.P, SAMIL, Y. *Fractal Antennas Novel Antenna Miniaturization Technique and Applications*. IEEE Antenna's and Propagation Magazine, Vol. 44, No.1, February 2002, 20-36.
- [4] MANDELBROTE, B.B, *The Fractal Geometry of Nature*, Freeman, New York, 1983, 468.
- [5] JAGGARD, D.L, JAGGARD, A.D. *Polyadic cantor super lattices with variable Lacunarity*, Opt. Lett , Vol. 22, No.3, February 1997, 145-147.
- [6] WERNER, D.H, WERNER P.L. *On the synthesis of fractal radiation patterns*, Radio.sci, Vol. 30, No.1 , January-February 1995, 29-45.
- [7] صالح، السموع، جركس، تاج الدين. *تحليل وتصميم مصفوفة الهوائيات التجزئية ومقارنتها بالمصفوفة الخطية منتظمة المسافات والتغذية*، مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية. سوريا ، المجلد 30 ، العدد 4 ، 2008 ، 113-128 .
- [8] MILLIGAN, T.A. *MODERN ANTENNA DESIGN*, second edition Wiley, New York, 2005, 633.
- [9] BALANIS, C.A. *Antenna Theory: Analysis and Design*, 3rd Edition John Wiley & Sons, Inc., New York, 2005, pp. 1117.
- [10] صالح، السموع، أحمد، راما. *تحليل ونمذجة الهوائي المصفوفي التجزئي المربعي ومقارنته مع الهوائي المصفوفي المنتظم* ، قبل للنشر في مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية بموجب الكتاب رقم /602/ ص م ج تاريخ 2011/5/29.