

تحسين منظومة الكترونيات مستقبلات شبكات منطقة الجسم اللاسلكية (WBANs)

* أ. د فادي غصنه

** د. ناجي محمد

*** م. رولا ديوب

(تاريخ الإيداع ٢٠٢٥/٤/١٠ . قُبل للنشر في ٢٠٢٥/٦/٢٥)

□ ملخص □

اكتسبت شبكات منطقة الجسم اللاسلكية WBAN(Wireless Body Area Network) اهتماماً متزايداً بسبب التطور الكبير في مجال الأجهزة الإلكترونية القابلة للارتداء من خلال استخدام أجهزة تتبع اللياقة البدنية ، الساعات الذكية، أجهزة الرعاية الصحية، أجهزة (GPS(Global Positioning System)الهوائيات، وغيرها حيث أن شبكات WBAN تتضمن ثلاث أنماط اتصال رئيسية : داخل الجسم، خارج الجسم، وعلى جسم الإنسان بناءً على موقع عقدة الإشارة. يُعنى هذا البحث بدراسة الهوائيات، ومن الأفضل أن تكون هذه الأجهزة المستخدمة في شبكات WBAN ذات تكلفة منخفضة، استهلاك طاقة منخفض، و معدل البت مرتفع. قد تم تخصيص مجموعة من نطاقات التردد لهذا الغرض حيث تشمل 400MHZ لشبكات الاتصال القابلة للزرع داخل جسم الإنسان ، بالإضافة الى نطاق (2.4GHZ and 5.8GHZ) لتطبيقات (ISM(industrial, scientific, and medical) ، وأيضاً نطاق (3-10)GHZ لخدمات (UWB(Ultra-Wideband Antennas). بحيث يتم تصميم هوائي قابل للارتداء يعمل في نطاق ISM ملائم لجسم الإنسان من حيث الحجم الصغير والوزن الخفيف بالإضافة الى نطاق ترددي عريض من خلال التحكم في نوع ركيزة الهوائي وارتفاعها ثم احداث فتحات في رقعة الهوائي لإعطاء ترددات رنين إضافية وتحسين عرض النطاق الترددي.

الكلمات المفتاحية : شبكات WBAN- الهوائي - ركيزة الهوائي - عرض النطاق الترددي

* أستاذ في كلية هندسة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات - جامعة طرطوس - سوريا

** أستاذ مساعد في كلية هندسة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات - جامعة طرطوس - سوريا

*** طالبة ماجستير في قسم هندسة تكنولوجيا الاتصالات - معيدة باختصاص الكترونيات والاتصالات - كلية هندسة

تكنولوجيا المعلومات والاتصالات - جامعة طرطوس - سوريا

Improving of the system of electronic's receivers for Wireless Body Area Network

Dr. Fadi Gosnah*

Dr. Naji Mohamad**

Eng. Rola dayoub***

(Received 10/4/2025 . Accepted 25/6/2025)

□ ABSTRACT □

Wireless body area networks WBAN(Wireless Body Area Network) has gained attention due to the significant development in the field of electronic wearable devices through the use of fitness trackers, smart watches, healthcare devices, GPS(Global Positioning System) devices and others. WBAN encompasses three distinct communication modes: in-body, on-body, and off-body modes based on the location of the signal nodes. In this article we will address antennas where these devices used in WBAN network should be low cost, low energy consumption, and high bit rate. A rang of frequency bands has been allocated for this purpose, including 400MHZ for implantable medical communication networks, 2.4GHZ and 5.8GHZ for industrial, scientific, and Medical (ISM) application, and (3 to 10)GHZ for Ultra-Wideband (UWB) services. In this article, a wearable antenna operating in the ISM band will be designed, suitable for the human body in terms of small size and light weight, in addition to a wide frequency band. This will be achieved by controlling the type and height of the antenna substrate, and then creating slots in the patch antenna to provide additional resonant frequencies and improve bandwidth.

Keywords: WBAN - ANTENNA – SUBSTRATE ANTENNA –BANDWIDTH

* Professor in the Department of Communications Technology Engineering - College of Information and Communication Technology Engineering - Tartous University – Syria

** Assistant Professor in the Department of Communications Technology Engineering - College of Information and Communication Technology Engineering -Tartous University – Syria.

***Master's student at the Department of Communications Technology Engineering - Teaching Assistant in the field of Communication Electronic- College of Information and Communications Technology Engineering - Tartous University – Syria.

1. المقدمة :

أدى التطور الكبير في مجال الاتصالات اللاسلكية الى استخدام شبكات WBAN(Wireless Body Area Network) على نطاق واسع، حيث تستخدم في المجال العسكري و الرعاية الصحية و نظام تحديد المواقع GPS(Global Positioning System) وتتبع نظام اللياقة البدنية للرياضيين وغيرها من التطبيقات. ومن العناصر المهمة في هذه الأنظمة هي الهوائيات وهي عبارة عن أجهزة إلكترونية صغيرة الحجم قابلة للارتداء تعمل على تحويل التيار الى إشارات كهرومغناطيسية أي لها دور في التواصل بين أجهزة الاستشعار وجسم الإنسان. وتبلغ أهمية هذه الشبكات في التطبيقات الطبية حيث تتم عملية الاتصال عن طريق عقد استشعار توضع داخل جسم الإنسان تعمل على مراقبة بعض العلامات الحيوية مثل (معدل ضربات القلب- درجة الحرارة- ضغط الدم- تخطيط القلب) تجمع هذه البيانات وترسل الى هوائي يكون موجود بالقرب من جسم الانسان أو موجود على الجسم مباشرة يمكن ارتدائه والذي بدوره يرسلها الى عقد استقبال خارج الجسم مما يسمح للأطباء مراقبة حالة المريض عن بعد وتلقي العلاج مباشرة[1] .

الهدف من هذا البحث هو تصميم هوائي صغير الحجم ذات عرض نطاق ترددي واسع يعمل في شبكات WBAN والعمل على تحسين أدائه عن طريق إحداث فتحات في رقعة الهوائي حيث تم تقديم العديد من أنواع الهوائيات تعمل في نطاقات ترددية مختلفة في الأوراق البحثية حيث قدم الباحثون في الدراسة [2] دراسة شاملة للهوائيات المستخدمة في شبكات WBAN, حيث تم التعريف بهوائي MSPA(microstrip patch antenna) وتصميمه بواسطة المعادلات الرياضية. في الدراسة [3] اعتمد المؤلفون على تصميم هوائي UWB مصنوع من ركيزة Rogers RT5880 ومقارنتها مع هوائيات أخرى ذات ركائز مصنوعة من الجينز ومادة المطاط وتبين للباحث أن مادة الجينز والمطاط أفضل من حيث إعطاء حجم صغير للهوائي ومرونة وتكيف مع الانحناءات مقارنة مع مادة Rogers RT5880 ولكن هذه المادة أعطت عرض نطاق ترددي أوسع حيث ثابت العزل الكهربائي لها أقل من المادتين السابقتين كما قدم الباحثون في [4] تصميم هوائي ركيزته مصنوعة من مادة Rogers RT Duroid 5880، وارتفاع للركيزة $h=0.5\text{mm}$ واعتبره هوائي مرجعي بالنسبة الى ثلاث هوائيات أخرى مصنوعة من نفس المادة ولكن ذات ارتفاعات مختلفة للركيزة تتراوح القيم بين $(0.5-1.6)\text{mm}$ حيث تبين للباحث أن الهوائي ذات الارتفاع 0.7mm هو أفضل حيث حقق توازنا بين عرض نطاق ترددي واسع وحجم مقبول ومناسب لجسم الإنسان.

قدم الباحثون في الدراسة [5] تصميم هوائي ركيزته مصنوعة من مادة القطن يتميز هذا الهوائي بصغر حجمه ومرونته العالية مما يجعله مناسب جدا ومريح لجسم الإنسان ولكن هذا الهوائي يعاني من عرض نطاق ترددي ضيق تم تحسينه بإحداث فتحات في الرقعة ولكن بقي ضيق مقارنة مع الدراسة [3] [3] التي اعتمد فيها الباحث على تصميم هوائي ركيزته مصنوعة من مادة Rogers RT 5880 ذات ثابت عزل كهربائي ($\epsilon_r=2.2$) وارتفاع الركيزة $h=1.57\text{mm}$ يعمل في النطاق الترددي UWB وحقق نتائج عالية في مجال شبكات WBAN وأدى الى تلبية المتطلبات من حيث عرض النطاق الترددي. تقدم الدراسة [6] هوائي من نوع Monopole ثنائي النطاق الترددي يغطي نطاقات ISM و WLAN صغير الحجم مناسب للأجهزة القابلة للارتداء ذات ركيزة مصنوعة من مادة FR-4 حيث حقق عرض نطاق ترددي مناسب ولكن ربح الهوائي وكفاءته الإشعاعية منخفضة .

اقترح الباحثون في [7] هوائيا ذات ركيزة مصنوعة من cellulose laurate (cl) مغطى بشرط لاصق من النحاس يعمل في النطاق ISM وحقق هذا الهوائي أداء عاليا من حيث أنماط الاشعاع ومعامل الانعكاس ولكن عرض النطاق الترددي منخفض تم تحسينه عن طريق احداث فتحة في المستوي الأرضي للهوائي ولكن بقي الربح منخفض وخاصة بالقرب من مستخدم بشري. أما في [8] تم تصميم هوائي مصنوع من ركيزة Rogers RO3003TM ثابت العزل الكهربائي لها ($\epsilon_r=3$) وسماكة ($h=1.5$) حيث تم استخدام رقعة على شكل مستطيل مصنوعة من النحاس مع احداث فتحة على شكل حرف U المقلوبة ويعتبر هذا الهوائي مقترح جيد لشبكات WBAN من حيث عرض النطاق الترددي إلا أنه حجمه كبير مقارنة مع الهوائي في الدراسة [9] قدم المؤلفون تصميمًا للهوائي ذو أهمية عالية لأنه يحقق متطلبات شبكات WBAN من حيث خفة الوزن وصغر الحجم حيث تم استخدام ركيزة من نوع RT/duroid 5870 ذات ($\epsilon_r=3.27$) و سماكة $h=0.787$ وعلى الرغم أن ثابت العزل الكهربائي أعلى من الهوائي السابق إلا أنه يحقق نتائج أفضل بسبب استخدام رقعة مصنوعة من النحاس على شكل نجمة و فتحتين على شكل قوس في الحواف العلوية والسفلية للرقعة المشعة وبالتالي هذا العمل يؤدي الى اعطاء اثنان من النطاقات الترددية عند ISM and WLAN وتحسين كبير في عرض النطاق الترددي للهوائي.

2. أهمية البحث وأهدافه:

في شبكات WBANS يتم استخدام هوائيات قابلة للارتداء تعمل في النطاق الترددي ISM(industrial, scientific, and medical) عند الترددات (2.4 and 5.8) GHZ. يجب أن تكون هذه الهوائيات خفيفة الوزن وصغيرة الحجم ومخفية يمكن دمجها مع الملابس من أجل راحة جسم الإنسان. تتطلب هذه التطبيقات معدل نقل بيانات عالي وعرض نطاق ترددي واسع. لذلك يجب أن نختار هوائي يحقق هذه المواصفات من أجل تحقيق أداء أفضل للهوائي. في بحثنا هذا يتم اختيار الهوائي من نوع MSPA(Microstrip Patch Antenna) ويعتبر هذا النوع من الهوائيات خيارا مثاليا لتطبيقات شبكات منطقة الجسم (WBANS) القابلة للارتداء على الرغم من أن أحد قيود هذا النوع من الهوائيات هو عرض النطاق الترددي الضيق والهدف من هذا البحث هو تحسين عرض النطاق الترددي عن طريق التحكم في نوع ركيزة الهوائي وارتفاع الركيزة ومن ثم يتم إدخال فتحات في رقعة الهوائي وبالتالي يتحسن عرض النطاق الترددي .

3. طرائق البحث ومواده :

تم استخدام برنامج CST(Computer Simulation Technology) [10] من اجل تصميم الهوائي ومحاكاته، وهو عبارة عن برنامج محاكاة فعال في التصميم والتحليل الكهرومغناطيسي للأجهزة التي تعمل في نطاق واسع من الترددات ويتيح لنا محاكاة ثلاثية الأبعاد. نختار من هذا البرنامج فئة CST Microwave studio يتم اجراء المحاكاة وتحليل النتائج بالنسبة لمقاييس الأداء الآتية بواسطة استخدام أداة التحسين OPTIMIZED يتم قياس البارامترين عرض النطاق الترددي Bandwidth - حجم الهوائي Size وكذلك يتم إحداث فتحات في رقعة الهوائي بواسطة هذا البرنامج من أجل تحسين عرض النطاق الترددي. ومن أجل تصميم الهوائي بواسطة هذا البرنامج نحتاج إلى:

3-1 اختيار نوع ركيزة الهوائي:

تعتبر نوع ركيزة الهوائي من العناصر المهمة التي تؤثر على أداء الهوائي وذلك بسبب تغيير الخصائص الكهربائية والمغناطيسية اعتماداً على ثابت العزل الكهربائي (ϵ_r) حيث تم اعتماد في دراستنا هذه ستة أنواع من الركائز موضحة في الجدول (1) تختلف عن بعضها في ثابت العزل الكهربائي ودراسة تأثيرها على حجم وعرض النطاق الترددي للهوائي

3-2 اختيار ارتفاع الركيزة h:

في هذا البحث يتم دراسة تأثير ارتفاع الركيزة على عرض النطاق الترددي للهوائي وحجم الهوائي حيث في الجدول (2) تتوضح قيم الارتفاعات التي تمت دراستها

3-3 تصميم الهوائي رياضياً:

يتكون هوائي MSPA من رقعة مشعة مصنوعة من مادة موصلة من الذهب أو النحاس وتأخذ شكل (دائرة - مستطيل - نجمة - مربع - دائرة...) تقع على أحد جانبي الركيزة بينما المستوى الأرضي للهوائي يقع على الجانب الآخر من الركيزة ويتكون من نفس مادة الرقعة المشعة، وحيث الركيزة تتكون من مادة عازلة.

يتم تصميم الهوائي وفق المعادلات (1)-(2)-(3)-(4)-(5)-(6)-(7) بالاعتماد على الدراسة

[2]:

يتم حساب عرض رقعة الإشعاع W وفق المعادلة (1)

$$W = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\frac{(\epsilon_r + 1)}{2}}} \quad (1)$$

C : سرعة الضوء، f_0 : تردد التشغيل (التردد الذي يعمل عنده الهوائي)، ϵ_r : ثابت العزل الكهربائي للركيزة

يظهر ثابت العزل الكهربائي الفعال للركيزة ϵ_{eff} بسبب الموجات الكهربائية المتدفقة من كل

رقعة الهوائي والهواء، وهو مبين في العلاقة (2)

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \times \left(1 + 12 \frac{w}{h}\right)^{-\frac{1}{2}} \quad (2)$$

W : عرض رقعة الإشعاع للهوائي، h : ارتفاع الركيزة للهوائي، ϵ_r : ثابت العزل الكهربائي للركيزة

يحسب الطول الكهربائي للهوائي ΔL الذي يضاف الى الطول المادي Lp لرقعة الهوائي حسب

العلاقة (3)

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

W : عرض رقعة الإشعاع للهوائي، $\frac{w}{h}$: ارتفاع الركيزة للهوائي، ϵ_{eff} : ثابت العزل الكهربائي

الفعال للركيزة

يتم تحديد الطول الفعال لرقعة الهوائي L_{eff} عن طريق العلاقة (4) وإن هذا الطول يرى من منظور

كهربائي

$$L_{eff} = \frac{C}{2f\sqrt{\epsilon_r}} \quad (4)$$

وبالتالي طول المادي لرقعة الهوائي L وفق المعادلة (5)

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

لإيجاد طول المستوي الأرضي L_g وعرض المستوي الأرضي W_g حسب العلاقات (6)-(7) على

التوالي:

$$L_g = 6 \times h + L \quad (6)$$

$$W_g = 6 \times h + W \quad (7)$$

4-3 عرض النطاق الترددي للهوائي:

عرض النطاق الترددي للهوائي هو نطاق التردد الذي يمكنه الهوائي من خلاله أن يمتص أو يشع الطاقة ، يتم حسابه وفق المعادلة (8) ونحن نحتاج الى هوائي ذات عرض نطاق ترددي واسع من أجل تأمين أداء أفضل للهوائي.

$$BW = 3.77 \times f_0 \times \left(\frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r^2}\right) \times \left(\frac{W \times h}{L \times h}\right)^2 \quad (8)$$

5-3 حجم الهوائي:

يعد حجم هوائي MSPA من العوامل الحاسمة التي تؤثر على أداء الهوائي في تطبيقات WBAN حيث يتطلب تصميم هوائيات WBAN توازنا دقيقا بين تقليل حجم الهوائي لتحقيق الراحة والمرونة، والحفاظ على كفاءة الأداء من حيث الريح العالي، وعرض النطاق الترددي الواسع، يتم حساب حجم الهوائي وفق المعادلة (9).

$$size = W \times L \times h \quad (9)$$

6-3 العلاقة بين حجم الهوائي وثابت العزل الكهربائي للركيزة ϵ_r :

حسب دراسة العلاقة بين حجم الهوائي size وثابت عزل الركيزة ϵ_r تبين وجود علاقة أسية تربط بينهما بحيث تتوضح العلاقة وفق المعادلة (10) الآتية :

$$Y = (Y_0 - Plateau) \times e^{(-K \times X)} + Plateau \quad (10)$$

المحور (Y) يمثل حجم الهوائي SIZE، X يمثل محور الزمن.

Y_0 : هي قيمة Y أي قيمة حجم الهوائي عندما $(X=0)$.

Plateau : هي قيمة Y عندما يكون X لانتهائي.

K: هو ثابت المعدل، ويعبر عنه معكوس وحدة المحور X

7-3 تصميم الهوائي بواسطة برنامج CST

من أجل تصميم الهوائي بواسطة برنامج CST تم اختيار ركيزة مصنوعة من مادة Rogers

RO3003 ذات ثابت عزل كهربائي $\epsilon_r=3$ وارتفاع الركيزة $h=1.6mm$ وتم استخدام المعادلات من (1)

حتى المعادلة (7) في ايجاد أبعاد الهوائي ومن أجل زيادة عرض النطاق للهوائي وبناءً على المرجع [8]

تم احداث فتحة في رقعة الهوائي على شكل حرف U مقلوبة مع خط مستقيم أعلى الفتحة.

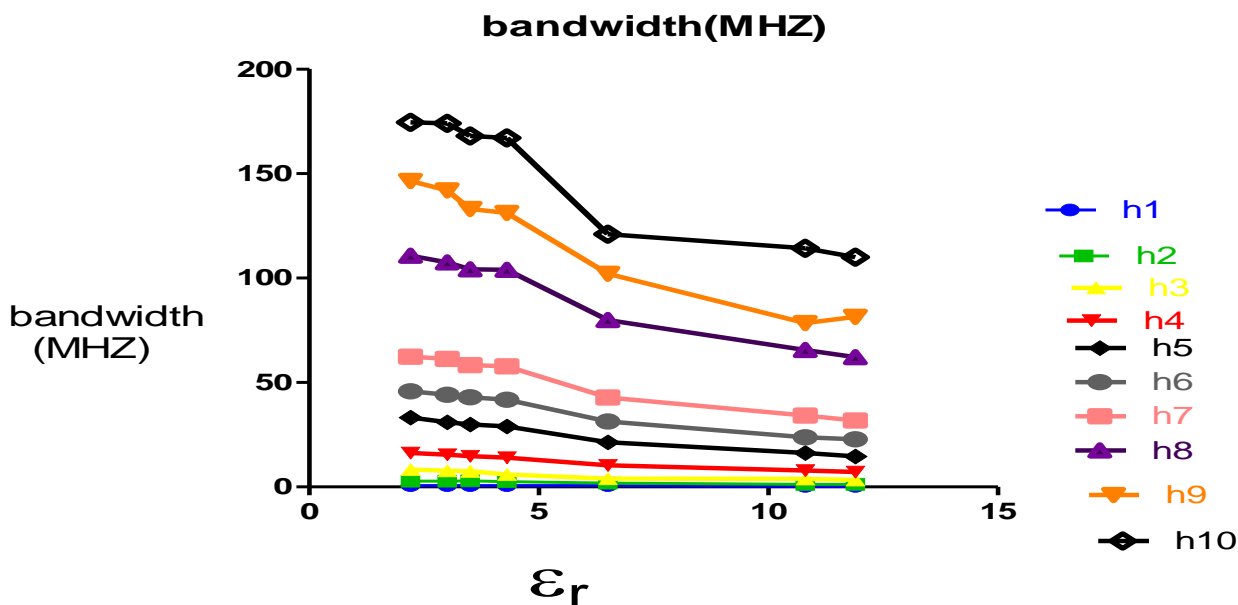
4- النتائج والمناقشة:

4-1 تأثير نوع ركيزة الهوائي:

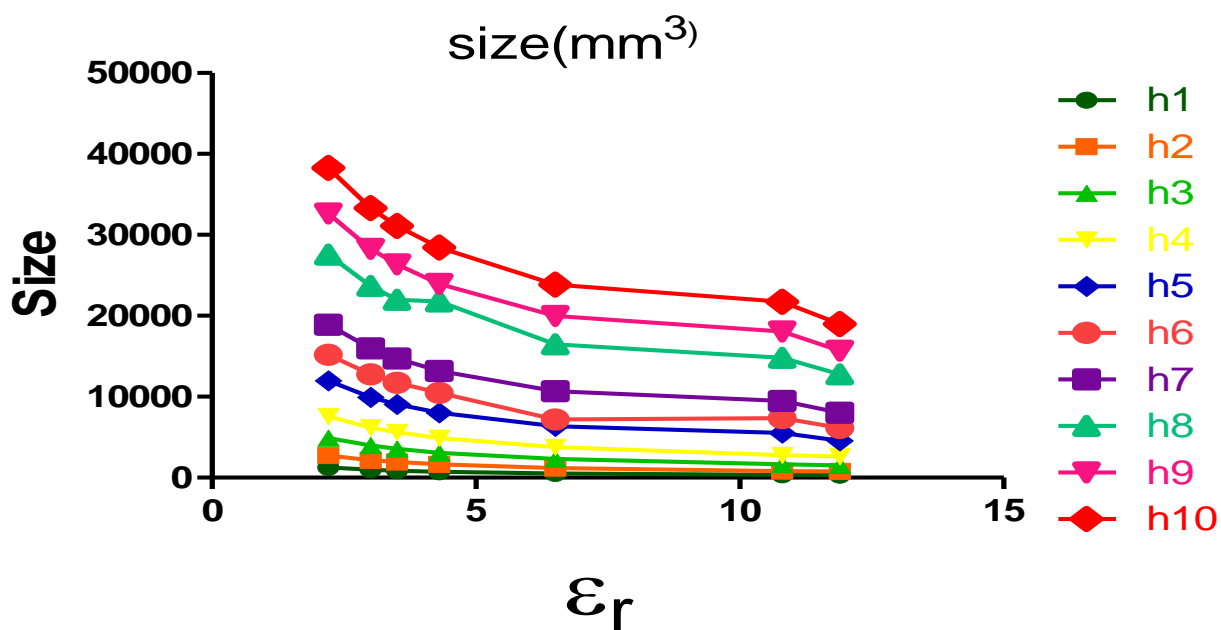
في بحثنا هذا سوف نقوم بدراسة ستة أنواع مختلفة من الركائز الواردة في الجدول (1) التركيز على تأثيرها على عرض النطاق الترددي والحجم للهوائي وسوف تتم عملية الدراسة عند ارتفاعات مختلفة حسب الجدول (2) ونلاحظ من الشكل البياني (1) الذي يوضح تأثير نوع الركيزة على عرض النطاق الترددي نلاحظ أن عرض النطاق الترددي للهوائي يزداد عند الركائز ذات ثابت العزل الكهربائي المنخفض (ϵ_r) لأن هذا النوع من المواد تقلل من التشتت والتداخل بين الموجات وبالتالي تؤدي إلى مجال إشعاعي أوسع وتقلل من الخسائر، وبالتالي التحسين من عرض النطاق الترددي [11]، أي أن نتيجة لذلك الهوائيات التي تمتلك ركائز ذات ثابت عزل كهربائي منخفض هي الأفضل من ناحية عرض النطاق الترددي، ولكن نلاحظ حسب الشكل (2) تناقص حجم الهوائي مع الركائز ذات ثابت العزل الكهربائي المرتفع لأن هذه المواد تعمل على تحسين القدرة الإشعاعية عن طريق تحسين تركيز الطاقة في المنطقة الفعالة للهوائي. وكذلك تساهم في تقليل التداخل الكهرومغناطيسي بين الهوائي والعناصر الإلكترونية المحيطة به أو الهوائيات الموجودة داخل النظام [12].

الجدول (1) يوضح أنواع الركائز المدروسة

أنواع الركائز	Rogers RT-duroid 5880	Rogers RO3003	Rogers RO4835T	FR-4	Rogers RO3006	Rogers R03210	Silicon
ϵ_r	2.2	3	3.5	4.3	6.5	10.8	11.9



الشكل (1) يوضح تناقص عرض النطاق الترددي للهوائي مع زيادة ثابت العزل الكهربائي للركيزة (ϵ_r)



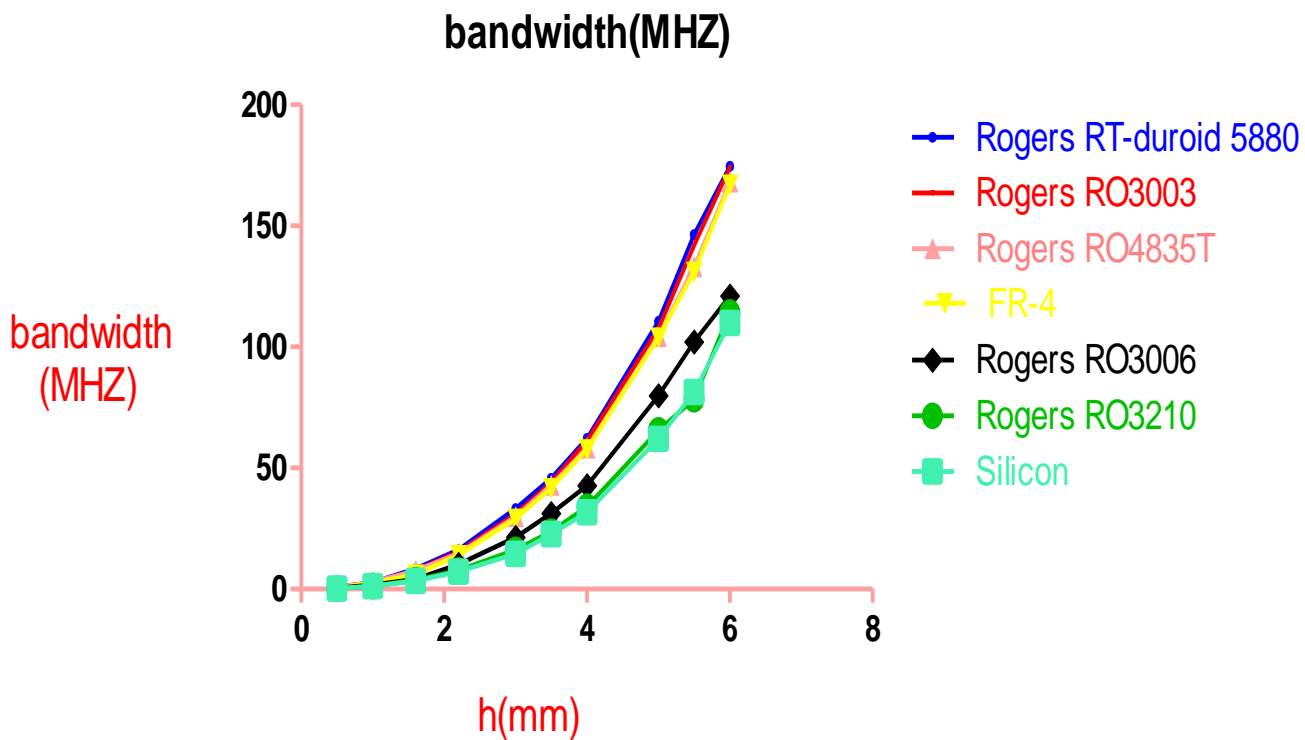
الشكل (2) يوضح تناقص حجم الهوائي مع زيادة ثابت العزل الكهربائي للركيزة (ϵ_r)

2-4 تأثير ارتفاع ركيزة الهوائي:

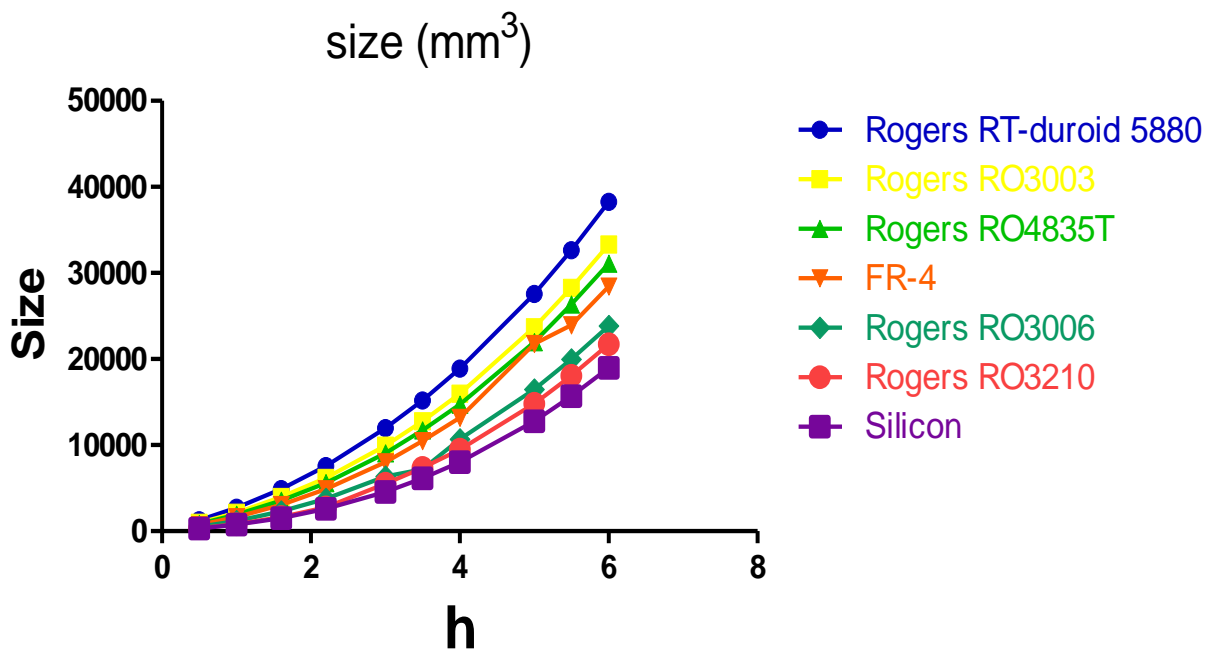
قمنا بدراسة تأثير ارتفاع الركيزة h على عرض النطاق الترددي وحجم الهوائي وحسب الشكل البياني (3) تبين لدينا أن عرض النطاق الترددي للهوائي يزداد مع زيادة ارتفاع ركيزة الهوائي h لأن زيادة ارتفاع الركيزة يؤدي إلى زيادة تأثيرات التشتت $fringing\ effects$ على الحواف مما يؤدي إلى توسيع عرض النطاق الترددي [13] ومع ذلك إن تجاوز حدا معيناً من الارتفاع قد يؤدي إلى انخفاض الكفاءة الإشعاعية وزيادة الخسائر وزيادة في حجم الهوائي حسب الشكل البياني (4)، لذلك إن ارتفاع الركيزة الأمثل يتراوح بين 0.5 إلى 1.6 من أجل تحقيق توازن بين حجم مناسب للهوائي وعرض النطاق ترددي واسع [4].

الجدول (2) ارتفاع الركائز المدروسة

h(mm)	h1	h2	h3	h4	h5	h6	h7	h8	h9	h10
ارتفاع الركيزة	0.5	1	1.6	2.2	3	3.5	4	5	5.5	6



الشكل(3) يوضح تزايد عرض النطاق الترددي للهوائي مع زيادة ارتفاع الركيزة h عند كل نوع من أنواع الركائز



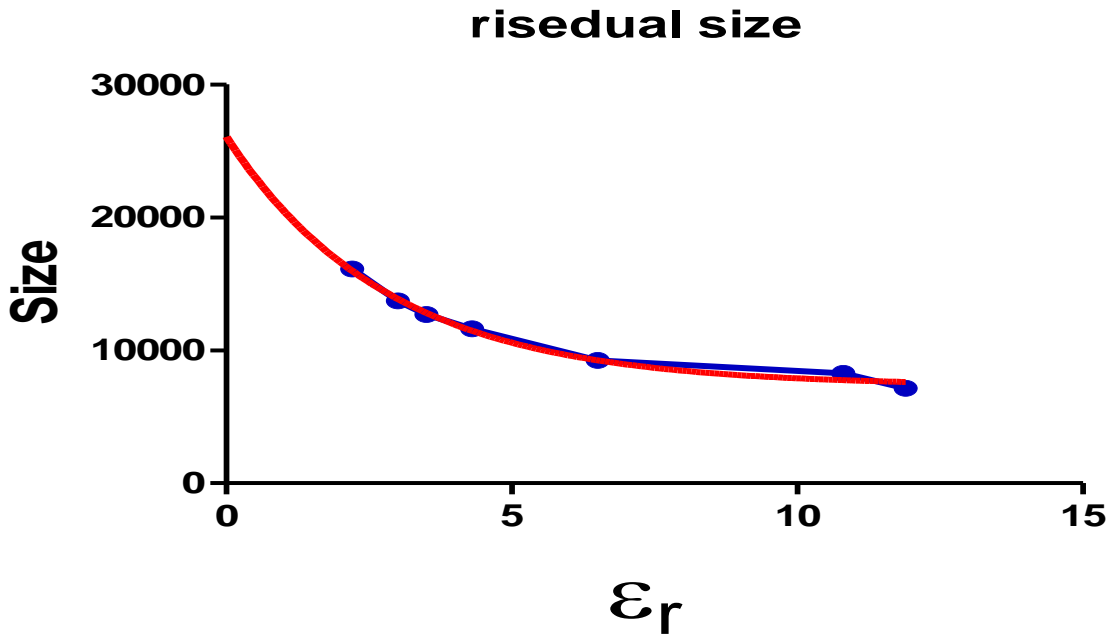
الشكل(4) يمثل تزايد حجم الهوائي مع زيادة ارتفاع الركيزة للهوائي(h)

3-4 العلاقة بين حجم الهوائي وثابت العزل الكهربائي للركيزة:

نتيجة الدراسات السابقة نستنتج العلاقة الأسية بين حجم الهوائي وثابت العزل الكهربائي للركيزة موضحة في الشكل البياني (5) ويمثل المخطط ذو اللون الأزرق العلاقة بين الحجم وثابت العزل الكهربائي للركيزة والمخطط ذو اللون الأحمر يمثل التابع الأسّي، وتتوضح قيم المتغيرات التابع الأسّي وفق الجدول (3).

الجدول (3) قيم متغيرات التابع الأسّي

Variables	Value	Rang of values
Y0	26070	19891 to 32250
Plateau	7326	6297 to 8355
K	0.3507	0.2156 to 0.4859
Half Life	1.976	1.426 to 3.216
Tau	2.851	2.058 to 4.639
Span	18744	13125 to 24363

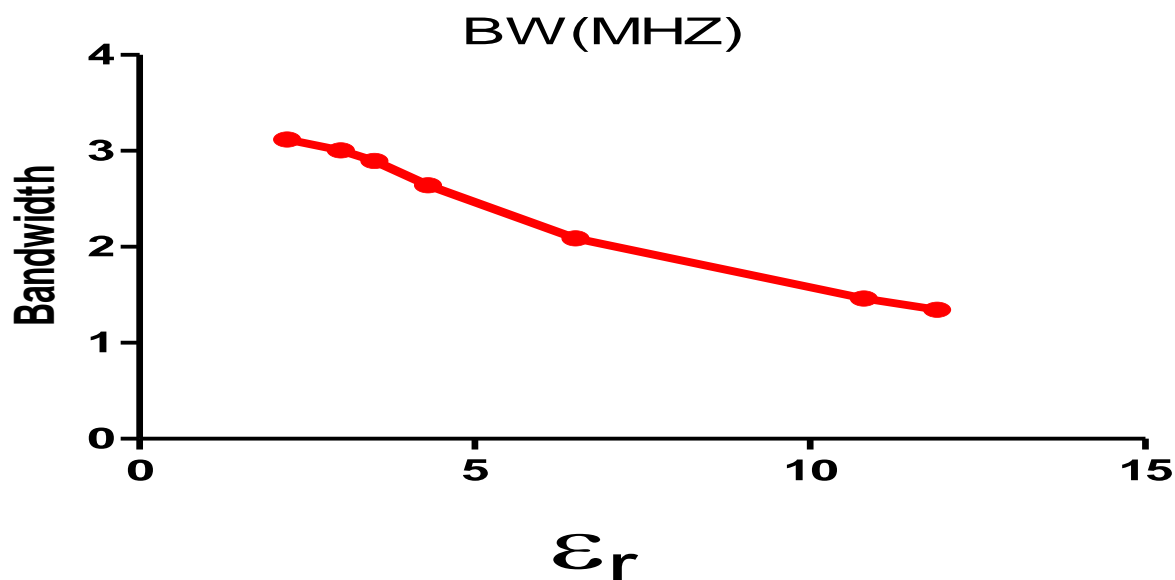


الشكل (5) يوضح الخط البياني الأزرق علاقة حجم الهوائي مع ثابت العزل الكهربائي للركيزة والخط البياني الأحمر يوضح علاقة التابع الأسّي التي تربط بينهما

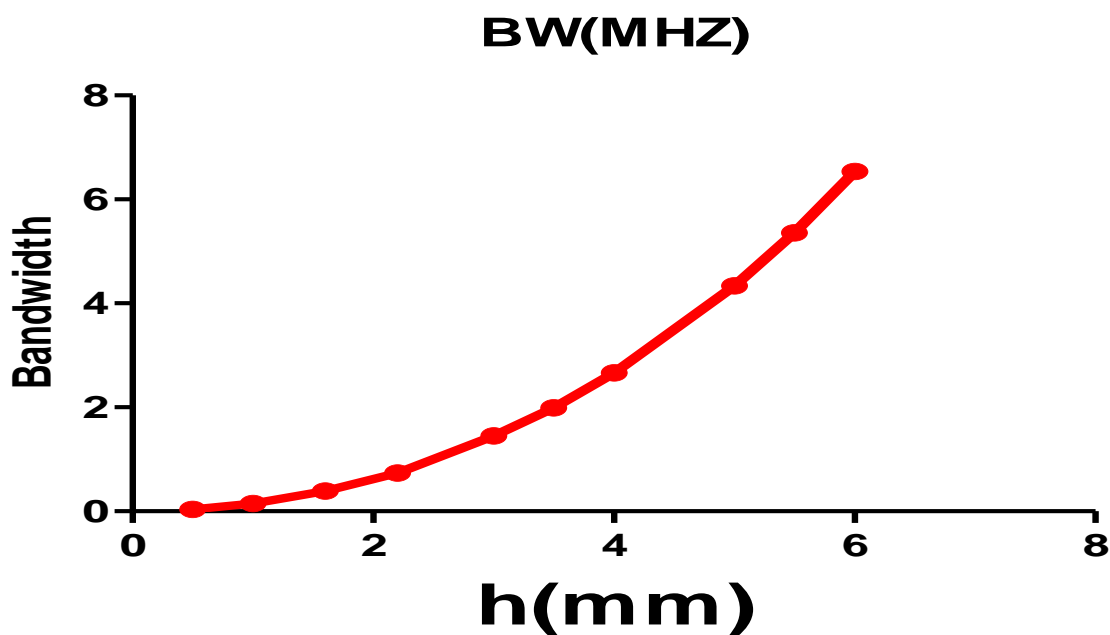
4-4 عرض النطاق الترددي للهوائي :

نتيجة الدراسات السابقة تتوضح نتائج عرض النطاق الترددي حيث الشكل (6) يمثل علاقة عرض النطاق الترددي مع ثابت العزل الكهربائي للركيزة ونلاحظ تناقص عرض النطاق الترددي مع ازدياد ϵ_r والشكل

(7) يمثل علاقة عرض النطاق الترددي مع ارتفاع الركيزة ونلاحظ ازدياد عرض النطاق الترددي مع زيادة الارتفاع [11][13](h).



الشكل (6) يوضح علاقة عرض النطاق الترددي BW مع ثابت العزل الكهربائي للركيزة

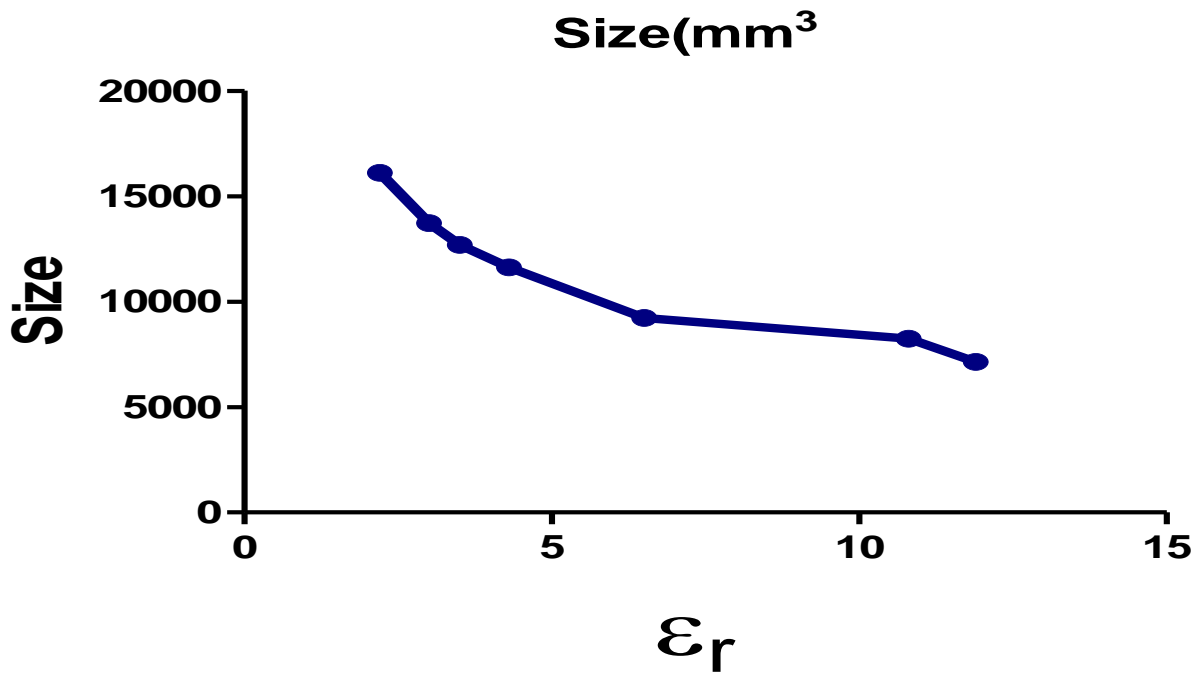


الشكل (7) يوضح علاقة عرض النطاق الترددي BW مع ارتفاع الركيزة h

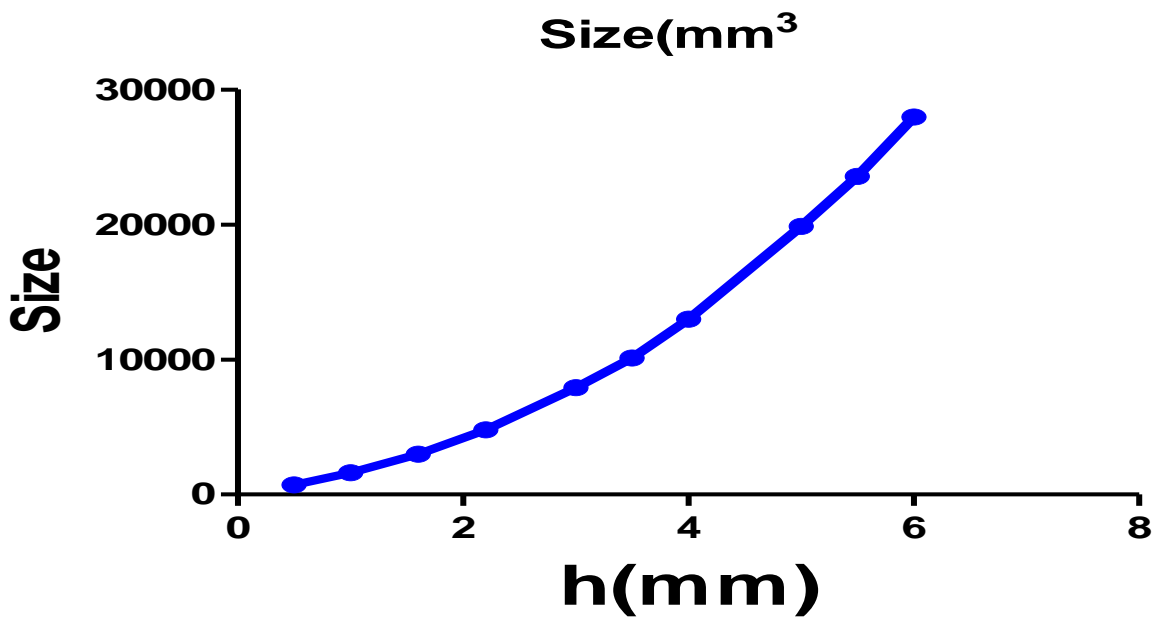
4-5 حجم الهوائي:

نلاحظ من الشكل البياني (8) تناقص حجم الهوائي مع ازدياد ثابت العزل الكهربائي

للركيزة، ومن الشكل البياني (9) يزداد حجم الهوائي مع زيادة ارتفاع الركيزة للهوائي [12].



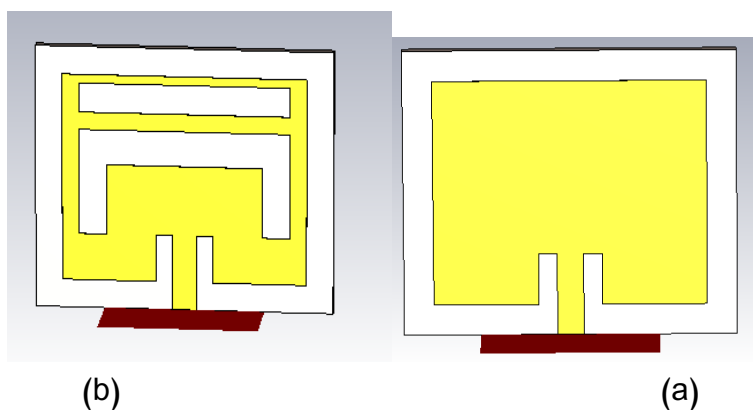
الشكل (8) يمثل تناقص حجم الهوائي مع زيادة ثابت العزل الكهربائي للركيزة ϵ_r



الشكل (9) يوضح زيادة حجم الهوائي مع زيادة ارتفاع الركيزة h

4-6 محاكاة الهوائي بواسطة برنامج CST :

تم تصميم الهوائي بواسطة برنامج cst وفق الشكل البياني (10) موضحة الفتحات الموجودة في رقعة الهوائي مقارنة مع الدراسة [8] حيث تم زيادة أبعاد الفتحة وإضافة فتحة جديدة على شكل خط مستقيم، حيث أن أبعاد الهوائي موضحة في الجدول (4) ، W_s تمثل عرض الركيزة، L_s : طول الركيزة، W_{s2} : عرض الفتحة L_{s2} : طول الفتحة، h_g ارتفاع المستوي الأرضي للهوائي.



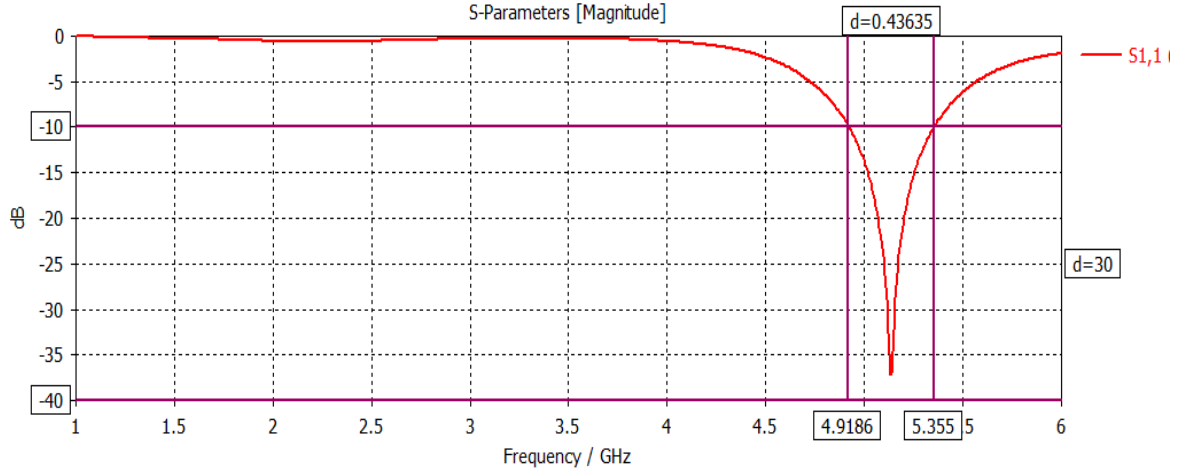
الشكل (10) يمثل الهوائي الذي تم تصميمه حيث (a) هوائي من دون فتحات (b) هوائي مع فتحات

الجدول (4) أبعاد الهوائي الذي تم تصميمه

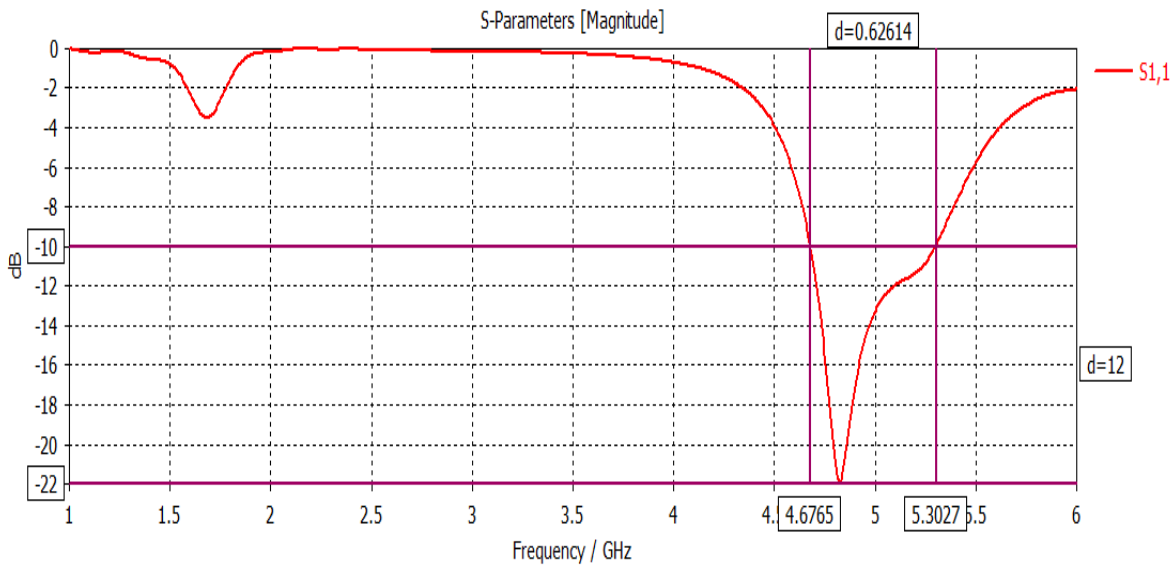
Variables	Values	Variables	Values
W_g	53.7	W_{s1}	3
L_g	53.7	W_{s2}	5
W_s	53.7	L_{s2}	18
L_s	53.7	H_g	0.035
W_p	44.1	H	1.6
L_p	35.5	W_f	4.8
L_{s1}	8	L_f	4.25

وبناءً على نتائج المحاكاة التي تم التوصل إليها نلاحظ أن عرض النطاق الترددي للهوائي بدون فتحات 0.436 GHz موضح في الشكل (11) وبعد إنشاء فتحات بلغ عرض النطاق الترددي 0.659GHz حسب الشكل البياني (12) أي تحسن بمقدار ما يعادل 12.56% ، ولكن عند مقارنته مع الدراسة [8] نلاحظ أن مع زيادة في طول وعرض الفتحة وإضافة فتحة جديدة تحسن عرض النطاق بمقدار 0.239GHz حيث أن الفتحات تؤدي إلى تعديل التيارات السطحية مما يسمح بتحقيق استجابة ترددية أوسع وبالتالي تقليل الموجات السطحية المنعكسة الغير مفيدة وتوسيع عرض النطاق [14] دون الحاجة إلى زيادة الحجم الكلي للهوائي حيث أن تأثير الفتحات في رقعة الهوائي على الحجم لن تكون بشكل مباشر لأن نتيجة

تغيير التيار على سطح الهوائي بسبب الفتحات تؤدي الى زيادة في طول المسار الذي يسلكه التيار إي زيادة بالطول الكهربائي للهوائي مما يسمح بتصغير أبعاد الهوائي مع المحافظة على الأداء ولكن نظريا بقي الحجم نفسه.



الشكل (11) يمثل عرض النطاق الترددي BW للهوائي من دون فتحات



الشكل (12) يوضح عرض النطاق الترددي BW للهوائي مع فتحات، المحور الأفقي يمثل التردد والمحور العمودي يمثل قيمة معامل

الانعكاس S11

5 الاستنتاجات والتوصيات:

تم في هذا البحث دراسة تأثير ثابت عزل الركيزة (ϵ_r) وارتفاع الركيزة (h) وفتحة على شكل حرف U مقلوبة في رقعة الهوائي على عرض النطاق الترددي وحجم الهوائي وتوصلنا الى مجموعة من الاستنتاجات :

1. تم دراسة هوائيات تمتلك ركائز ذات ثوابت عزل مختلفة حيث أن الركيزة من نوع Rogers RT-5880 وduroid 5880 ومن نوع Rogers RO3003 هما الأفضل مقارنةً مع الركائز من الأنواع الأخرى ولكن عند استخدام هذه الأنواع من الركائز يكون حجم الهوائي كبير، ولكن استخدام ركائز من نوع Silicon هي أفضل من ناحية الحجم الصغير ولكن تعطي عرض نطاق ترددي ضيق مقارنة مع النوعين السابقين.

2. تم استخدام ارتفاعات مختلفة للركيزة حيث أن الارتفاعات المنخفضة ($h=0.5, h=1, h=1.6$) تعتبر الأفضل من حيث عرض النطاق الترددي حيث يكون عرض النطاق الترددي كبير بالإضافة الى حجم هوائي مناسب، لذلك من الأفضل استخدام ركائز ذات ارتفاعات منخفضة.

3. لذلك تم اختيار هوائي من نوع ركيزة Rogers RO3003 وارتفاع ($h=1.6$) وهو مناسب من حيث عرض النطاق الترددي والحجم وتصميمه بواسطة برنامج CST MICROWAVE STUDIO اعتمدنا على إنشاء فتحة في رقعة الهوائي على شكل حرف U مقلوبة بالإضافة الى فتحة على شكل خط مستقيم حيث أدى الى تحسين عرض النطاق بمقدار 12.56% ولكن لن تؤثر هذه الفتحات على حجم الهوائي بشكل مباشر.

بناءً على النتائج التي تم التوصل إليها في هذه الدراسة، يمكن اقتراح عدد من التوصيات المستقبلية لتعزيز أداء الهوائي المستخدم في شبكات WBAN .

❖ استخدام المواد الذكية التي تتيح تعديلاً ديناميكياً للخصائص الفيزيائية أو

الكهرومغناطيسية للهوائي حسب الحاجة أو البيئة المحيطة لكي تلاءم التطبيقات القابلة للارتداء وتحقيق التوازن بين الكفاءة وراحة المستخدم.

❖ دراسة تأثير الانحناء Conformal Bending والملاصقة مع جسم الإنسان على

خصائص الهوائي من خلال محاكاة الهوائي باستخدام نماذج بشرية متعددة الطبقات.

❖ يقترح العمل على تحسين العزل بين الهوائي والجسم باستخدام تقنيات العزل

الكهربائي أو إدخال هياكل Metamaterials أو EBG (Electromagnetic Band Gap) لتحسين الكفاءة وتقليل الامتصاص الإشعاعي SAR.

7 المراجع:

- [1] Khraisat, Y. S. (2018). Increasing microstrip patch antenna bandwidth by inserting ground slots. Journal of Electromagnetic Analysis and Applications, 10(1), 1-11.
- [2] Markad, N. T., Kanphade, R. D., & Wakade, D. G. (2015). Design of cavity model microstrip patch antenna. Computer Engineering and Intelligent Systems, 6(4), 1-13.
- [3] Tiwari, B., Gupta, S. H., & Balyan, V. (2020). Design and comparative analysis of compact flexible UWB antenna using different substrate materials for WBAN applications. Applied Physics A, 126(11), 858.

- [4] Toma, R. N., Shohagh, I. A., & Hasan, M. N. (2019). Analysis the effect of changing height of the substrate of square shaped microstrip patch antenna on the performance for 5G application. *Int. J. Wireless Microw. Technol*, 9(3), 33-45.
- [5] Karthikeyan, S., Gopal, Y. V., Kumar, V. G. N., & Ravi, T. (2019, October). Design and analysis of wearable antenna for wireless body area network. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 590, No. 1, p. 012022). IOP Publishing.
- [6] Utsav, A., & Badhai, R. K. (2021, April). Design of Dual Band Monopole Antenna for WBAN Communication. In *2021 6th International Conference for Convergence in Technology (I2CT)* (pp. 1-6). IEEE.
- [7] Sid, A., Cresson, P. Y., Joly, N., Braud, F., & Lasri, T. (2022). A flexible and wearable dual band bio-based antenna for WBAN applications. *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, 157, 154412.
- [8] Musa, U., Shah, S. M., Majid, H. A., Mahadi, I. A., Rahim, M. K. A., Yahya, M. S., & Abidin, Z. Z. (2023). Design and analysis of a compact dual-band wearable antenna for WBAN applications. *IEEE Access*, 11, 30996-31009.
- [9] Khan, M. A., Sethi, W. T., Malik, W. A., Jabbar, A., Khalid, M. A., Almuhlafi, A. M., & Himdi, M. (2024). A comprehensive analysis of low-profile dual band flexible omnidirectional wearable antenna for WBAN applications. *IEEE Access*.
- [10] Divya, C., Koushick, V., Lakshmi, G., & Dinesh, S. (2019). Design of patch antenna for ISM band applications using CST microwave studio. *International Journal of Management, Technology and Engineering*, 9(4), 2846-2853.
- [11] Köksel, F., & Karamzadeh, S. (2024, May). Comparison of Six Different Dielectric Substrates in Microstrip Patch Antenna Design. In *2024 32nd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)* (pp. 1-4). IEEE
- [12] Saadi, M. A. (2021). Review on Size Reduction Techniques of the Microstrip Patch Antenna. *Journal of Millimeterwave Communication, Optimization and Modelling*, 1(2), 34-36
- [13] Musa, U., Shah, S. M., Majid, H. A., Mahadi, I. A., Rahim, M. K. A., Yahya, M. S., & Abidin, Z. Z. (2023). Design and analysis of a compact dual-band wearable antenna for WBAN applications. *IEEE Access*, 11, 30996-31009
- [14] khraisat, Y. S. (2018). Increasing microstrip patch antenna bandwidth by inserting ground slots. *Journal of Electromagnetic Analysis and Applications*, 10(1), 1-11
- [15]] Rajappa, H. S., Chandrappa, D. N., & Soloni, R. (2024). Partial Ground-Based Miniaturized Ultra Wideband Microstrip Patch Antenna. *Indian Journal of Science and Technology*, 17(2), 105-111