

# توليف رنين الهوائيات الرقعية باستخدام مركبات الألياف الطبيعية المستدامة

ضو محمد عبد الهادي

قسم الفيزياء، كلية العلوم، الجامعة الأسمرية، زليتن، ليبيا

لمراسلة المؤلف: [D.sahal@asmarya.edu.ly](mailto:D.sahal@asmarya.edu.ly)

Received: Dec. 25, 2025

Accepted: Dec. 29, 2025

Published: Dec. 30, 2025

## الملخص:

تقدّم هذه الدراسة بحثاً موسعاً حول استخدام المركبات الحيوية المكونة من ألياف مخلفات ثمرة زيت النخيل (OPEFB) وبوليمر حمض اللاكتيك (PLA) كركائز مرنة ومنخفضة التكلفة لتطبيقات الهوائيات الرقعية الميكروية. تم تحضير عينات من المركب بنسب وزنية مختلفة (0%، 40%، 50% من الألياف) لدراسة تأثير محتوى الألياف على تردد الرنين والخصائص الكهرومغناطيسية. تم تصنيع هوائيات رقعية مربعة ذات ابعاد 8×8 سم ذات محور تغذية. أجريت القياسات العملية للحصول على معامل فقد العودة (RL) للهوائيات باستخدام جهاز التحليل الشبكي (Vector Network Analyzer) ضمن نطاق التردد من 1 إلى 4 جيجاهرتز، فكانت قيم فقد العودة -6.206 dB، -11.488 dB، -14.946 dB مقابل تردد الرنين 2.2 GHz، 2.14 GHz و 2.08 GHz على التوالي. استخدم برنامج كومسل لإجراء عمليات المحاكاة العددية استناداً إلى قيم السماحية الكهربية التي تم حسابها، بهدف التحقق من دقة النمذجة الكهرومغناطيسية وملائمتها للنتائج التجريبية. أظهرت نتائج التحليل توافقاً ممتازاً بين البيانات المقاسة والمحاكاة، مما يؤكد فعالية استخدام مركب OPEFB/PLA كمادة واعدة لتصميم ركانز هوائيات منخفضة التكلفة وصديقة للبيئة.

**الكلمات المفتاحية:** ألياف زيت النخيل (OPEFB)، بوليمر حمض اللاكتيك (PLA)، هوائى الرقعة، السماحية الكهربية، برنامج كومسل

## TUNING PATCH ANTENNAS RESONANCE USING SUSTAINABLE NATURAL FIBER COMPOSITES

Daw Mohammad Abdalhadi

Physics Department, Faculty of Science, Alasmariya Islamic University, Zliten, Libya

Corresponding author: [D.sahal@asmarya.edu.ly](mailto:D.sahal@asmarya.edu.ly)

نشرت: 2025

قبلت: 29 ديسمبر 2025

استلمت: 25 ديسمبر 2025

**Abstract:**

This study presents extensive research on the use of biocomposites composed of Oil Palm Empty Fruit Bunch (OPEFB) fibers and Polylactic Acid (PLA) polymer as flexible, low-cost substrates for microstrip patch antenna applications. Composite samples were prepared with various weight fractions (0%, 40%, and 50% fiber content) to investigate the effect of fiber content on the resonant frequency and electromagnetic properties. Square patch antennas with dimensions of 8×8 cm and a feedline were fabricated. Experimental measurements were conducted to obtain the Return Loss (RL) of the antennas using a Vector Network Analyzer within the frequency range of 1 to 4 GHz. The obtained return loss values were -6.206 dB, -11.488 dB, and -14.946 dB, corresponding to resonant frequencies of 2.2 GHz, 2.14 GHz, and 2.08 GHz, respectively. COMSOL Multiphysics software was utilized to perform numerical simulations based on the calculated dielectric permittivity values to verify the accuracy of the electromagnetic modeling and its consistency with experimental results. The analysis results showed excellent agreement between the measured and simulated data, confirming the effectiveness of using the OPEFB/PLA composite as a promising material for designing low-cost and eco-friendly antenna substrates.

**Keywords:** oil palm fiber (OPEFB), polymer lactic acid (PLA), patch antenna, permittivity, Comsol.

**1. المقدمة**

تُعد الهوائيات الرقعية (Patch Antennas) من أكثر أنواع الهوائيات تطوراً وانتشاراً في الأنظمة الحديثة للاتصالات اللاسلكية. يطلق عليها الهوائيات المطبوعة نظراً لإمكانية تصنيعها عبر طباعة طبقة رقيقة من مادة موصلة على سطح ركيزة عازلة موضوعة فوق سطح موصل مؤرض. يتميز هذا النوع من الهوائيات ببنية مسطحة وصغيرة الحجم، مما يسهل دمجها وتثبيتها على الأسطح المختلفة سواء كانت مستوية أو منحنية، مثل أسطح السيارات والطائرات والمركبات الفضائية والصواريخ.

تتنوع الأشكال الهندسية للهوائيات الرقعية بين المستطيلة والمربعة والدائرية والبيضاوية، ويتم اختيار شكل الهوائي وفقاً لمتطلبات التصميم ونطاق التردد المستهدف [1]. عادةً تُستخدم هذه الهوائيات في نطاقات التردد التي تتجاوز 500 ميغاهيرتز، إلا أن كسبها وكفاءتها الإشعاعية غالباً ما تكون محدودة مقارنة بالهوائيات الأخرى. ومع ذلك، فإن أبعادها المدمجة وسهولة تصنيعها وتركيبها تجعلها

خياراً مثالياً في مجالات متعددة، بما في ذلك أنظمة الاتصالات النقالة وهوائيات المركبات وتطبيقات التوجيه المختلفة [2].

علاوة على ذلك، يمكن ترتيب عدة هوائيات رقعية ضمن مصفوفة لتشكيل ما يُعرف بمصفوفة الهوائيات الرقعية (Patch Antenna Array)، وهو ما يساهم في تحسين خصائص الإشعاع وزيادة الكسب وتعزيز توجيه الإشارة. وقد مكن هذا التطوير من توسيع نطاق استخدام الهوائيات الرقعية لتشمل التطبيقات بعيدة المدى، مثل أنظمة الاتصالات مع الطائرات وبعض أنظمة الاتصالات بالأقمار الصناعية.

تستخدم الأبحاث الحديثة هذا النوع من الهوائيات في المساعدة في علاج سرطان الثدي وذلك عبر تطوير تقنيات تمكن من تحسين أداء أنظمة العلاج الحراري بالموجات الكهرومغناطيسية، وتعد مصفوفات هوائيات الرقعة الشريطية الدقيقة من أبرز الأساليب المستخدمة وذلك لتعزيز التوجيه وتقليل خسارة الانعكاس [3].

تستخدم العديد من المواد الموصلة وغير الموصلة في صناعة مثل هذه الهوائيات وتحظى المواد الصناعية بالجزء الأكبر من تصنيعها، التي تكون تكلفتها باهظة الثمن في بعض الأحيان وصعوبة الحصول عليها في أحيان أخرى.

لذلك اتجهت الأنظار وبذلت الجهود الى استخدام بدائل أخرى متوفرة محليا صديقة للبيئة رخيصة الثمن وسهلة التشكيل التي تحقيق كفاءة عالية في استهلاك الطاقة، كما ينبغي لهذه المواد ان يكون لها درجة عالية من التوافق مع الدوائر الكاملة المستوية والاسطح غير المستوية.

لذلك ركزت الأبحاث العلمية والصناعية على الركائز المدعمة بالبوليمرات العضوية والغير عضوية، لاستخدام مثل هذه المواد يتم دمج مادة او مادتين في مصفوفة واحدة وتسمى بالمركبات الهجينة. عند استخدام الألياف ودمجها مع البوليمر فان الألياف تتوزع بالتساوي وبشكل عشوائي في المركب الهجين مما يؤدي الى تحسين خصائصها الكهربائية والميكانيكية .

لقد لاقت خصائص العزل الكهربائي للمواد والمنتجات الزراعية اهتمامًا متزايدًا في الآونة الأخيرة، وذلك بالتوازي مع اعتماد تقنيات جديدة في مجالات الزراعة والصناعات المرتبطة بها. وقد ارتبط الاهتمام التاريخي بخصائص العوازل الكهربائية في الأساس بمتطلبات تصميم المعدات والأجهزة الكهربائية، إذ تُستخدم مواد عازلة مختلفة لعزل الموصّلات وسائر المكونات الحساسة في هذه الأجهزة، مما جعل الخواص العازلة عنصرًا حاسمًا في سلامة وكفاءة الأداء الكهربائي والإلكتروني. وقد أسهمت أبحاث المواد على امتداد القرن العشرين في تطوير طيف واسع من المواد العازلة لاستخدامها في التطبيقات الإلكترونية، الأمر الذي عزز من أهمية دراسة خصائصها الكهربائية في سياق تصميم النظم والأجهزة الحديثة [4]

شهد العقد الأخير، تطورًا ملحوظًا في ميدان المواد المركبة لغرض إنتاج مركبات تعتمد على الألياف الطبيعية المتجددة سنويًا مع مصفوفات بوليمرية قابلة للتحلل الحيوي، في إطار السعي إلى إيجاد بدائل مستدامة للمواد البوليمرية المعتمدة على المشتقات الأحفورية، لاسيما في صناعات السيارات والتغليف. وبرغم المزايا البيئية والعلمية التي تتيحها هذه المركبات الحيوية، لا تزال التكلفة المرتفعة للإنتاج تمثل أحد أبرز التحديات التي تقصر دراسة هذه المواد وتطبيقاتها في كثير من الحالات على نطاق المختبر، وتحد من انتشارها الصناعي واسع النطاق [5] في هذه الدراسة تم دمج الياف زيت النخيل (OPEFB) مع بوليمر حمض اللكتيك (PLA) بنسب مختلفة لإنتاج ركائز تستخدم في صناعة الهوائيات الرقعية.

## 2. المواد المستخدمة وتحضير العينات

تشكل نفايات زيت النخيل عبئا كبيرا على البلدان التي تكثر فيها أشجار زيت النخيل، ولقد جلبت الياف زيت النخيل المستخدم في هذا البحث من مكب النفايات لهذه المادة وتم غسل الألياف بالماء الجاري ثم بالماء المقطر ونقعها لمدة 24 ساعة كما تم تنظيفها أخيرا بمادة الاسيتون للتخلص من الشمع والزيوت العالقة ولم تغسل هذه الألياف بالصابون او بهيدروكسيد الصوديوم التي من الممكن ان تؤثر هذه المواد

على تركيبة الاليف الداخلية [6] [7]. بعد عملية الغسل جفت اليف زيت النخيل تحت اشعة الشمس ثم جفت مرة أخرى في الفرن تحت درجة حرارة 60 درجة مئوية للتخلص من الرطوبة وذلك قبل عملية الطحن، حيث طحنت اليف زيت النخيل بألة الطحن الخاصة ونخل الناتج المطحون بمنخل المعمل الذي يتكون من 5 غرابيل وهي 100، 200، 300، 400، 500 ميكرومتر وفي هذا البحث استخدمت الاليف التي حجمها 200 ميكرومتر.

تم تصنيع 3 مركبات من اليف زيت النخيل OPEFB وبوليمر حمض اللاكتيك PLA عن طريق تغيير نسب اليف زيت النخيل 0، 40، 50 % بالإضافة الى المصفوفة PLA

بعد ضبط الأوزان وتحديد النسب وضع PLA أولاً ليذوب في آلة الخلط المسماة (HAAKE) عند درجة حرارة مقدارها 160 درجة مئوية، ثم تضاف اليف زيت النخيل (OPEFB) تدريجياً، وقد ضبطت الآلة عند زمن قدره 20 دقيقة وعلى سرعة دوران 50 لفة في الدقيقة.

بعد استخراج الخليط من الآلة تنظف جيداً ولا يبقى من الخليط شيء يذكر لاستقبال خلطة أخرى ولضمان نسب المركبات، بعد ذلك يوضع حوالي 20 جرام من الخليط في قالب مربع ابعاده (8x8 cm) وعمقه 1mm في آلة الكبس الحراري عند درجة حرارة 160 درجة مئوية وفي الغالب تستغرق عملية الكبس حوالي 10 دقائق يترك القالب حتى يبرد ثم تستخرج العينة وهي ما تسمى بالركيزة، بنفس الطريقة يتم تصنيع الركائز الأخرى.

لتصنيع الهوائي الرقعي يتم تنظيف حواف الركيزة من الزوائد، يرسم مربع في وسط الركيزة ابعاده (4x4 cm) ، وينقب ثقب صغير في حافة المربع العلوية لتثبيت المغذى المحوري وذلك للحصول على الممانعة التي توائم ممانعة المغذى المحوري حوالي 50 أوم [8] وتزداد الممانعة كلما اقتربنا من حافة الهوائي وتتنخفض كلما اقتربنا من المركز لانعدام الجهد الكهربائي عنده، ولو وضع المغذى في الحافة او في

مركز الهوائي ستكون هناك فجوة كبيرة بين الممانعتين ويؤدي الى سوء مواعمة (mismatch) وستعكس الطاقة انعكاس عالي للمغذى عندها ينخفض (S11) و يتضاءل ولذلك يكون افضل موضع للمغذى هو منتصف المسافة بين الحافة والمركز [9].

تحضر أوراق النحاس الرقيقة وتلصق على جهة واحدة من الركيزة وتغطيها بالكامل بينما الجهة الأخرى تغطي مساحة المربع (4x4 cm) فقط، ويثبت المغذى باللحام على الواجهة الأمامية كما هو موضح في الشكل (1) والسلك الخارج منه يثبت على طرف المربع وهو يسمى patch باللحام أيضا وبذلك اكتمل تصنيع الهوائي، ويكون جاهزا لا جراء الاختبارات اللازمة عليه.



الشكل (1) الهوائيات المصنعة

## 1.2 الخواص الكهرومغناطيسية للركائز والهوائيات

يعد تحليل الخواص الكهربائية والعازلة خطوة هامة في توصيف المواد المركبة المستخدمة كركائز (Substrates) للهوائيات، حيث يهدف هذا التحليل إلى دراسة مدى تجانس المركب المخلوط وفهم التغيرات الطارئة على سلوكه الكهرومغناطيسي عند زيادة نسبة الألياف المضافة. تعتمد خصائص العزل الكهربائي لهذه الركائز بشكل جوهري على القابلية الكلية للمركب للاستقطاب تحت تأثير المجال الكهربائي المطبق. تتظاهر عدة آليات لتحديد هذه الخواص، أبرزها الاستقطاب الإلكتروني والذري بالإضافة إلى استقطاب ثنائيات الأقطاب والاستقطاب البيئي [10]، حيث تؤثر كل آلية بنسب متفاوتة تعتمد على التردد وطبيعة المواد المكونة. وبالتالي، فإن التحكم الدقيق في نسب الخلط يسمح بضبط ثابت العزل الكهربائي.

السماحية المركبة (complex permittivity) للمركب تتركب من جزء حقيقي يسمى ثابت العزل وجزء تخيلي يسمى بالفقد العزلي [11] وفقا للمعادلة

$$\epsilon = \epsilon' - j\epsilon'' \quad (1)$$

لقياس الطاقة الكهربائية المبددة في المادة العازلة والتي تتحول الى حرارة والذي يعرف ظل الفقد تستخدم المعادلة

$$\tan\delta = \epsilon''/\epsilon' \quad (2)$$

يمكن إيجاد ثابت العزل للهوائي ( $\epsilon_r$ ) بواسطة المعادلة التالية

$$\epsilon_r = \left(\frac{C}{L \cdot f_r}\right)^2 \quad (3)$$

حيث (C) سرعة الضوء و (L) طول الهوائي و ( $f_r$ ) تردد الرنين

كما يمكن إيجاد الفقد العزلي للهوائي ( $\epsilon_r''$ ) للهوائي بالتعويض في المعادلة رقم (2) عن طريق إيجاد ( $\tan\delta$ ) التي يمكن حسابها من المعادلة

$$\tan\delta = \frac{1}{Q_0} \quad (4)$$

عندما ( $Q_0$ ) عامل الجودة غير المحمل الذي يمكن حسابه من المعادلة

$$Q_0 = Q_L + (1 + \beta) \quad (5)$$

حيث ( $Q_L$ ) عامل الجودة المحمل و ( $\beta$ ) نسبة الاقتران

### 3. التجربة والقياسات

تمت القياسات بواسطة جهاز التحليل الشبكي (Vector Network Analyzer) ويرمز له بالرمز من النوع PNA- N5227A كما هو موضح في الشكل (2) يجهز جهاز التحليل الشبكي قبل اجراء القياسات بمعايرة الجهاز لضمان دقة النتائج ويشغل الجهاز بعد وصله بمصدر الكهرباء ويترك لمدة نصف ساعة حتى تستقر درجة حرارة المكونات الداخلية للجهاز، بعد ذلك يحدد نطاق التردد بالضغط على ( start

عند 4 (frequency) جيجا هيرتز ثم بالضغط على (stop frequency) عند 4 جيجا هيرتز (4GHz) وهى خيارات تظهر على شاشة الجهاز.

يتم التأكد من وصل الكابلات جيدا بالجهاز لتفادي اى اهتزازات التي من شأنها ان تقسد القياسات برمتها يضغط على خيار (cal) لإجراء عملية المعايرة ثم على (start cal) عندها يطلب الجهاز نوع المعايرة المرفقة مع الجهاز وهى مكتوبة على أدوات المعايرة المرافقة للجهاز مثل (N-type) من ثم يتم اخيار نوع المعايرة ففي حالتنا هذه نختار المنفذ رقم 1 (port1) لغرض قياس إشارة الانعكاس للهوائى (S11) عندها سيطلب الجهاز تطبيق المعايير وذلك بوصل قطعة (open) بنهاية الكابل ثم الضغط على خيار (measure) ثم يفك ال (open) ويوصل ال (short) ويضغط على (measure) بعدها يفك ال (short) وتوصل قطعة المقاومة (load) وبالضغط على (measure) تنتهى عملية المعايرة ويكون الجهاز جاهز للإستخدام، يفك قطعة المقاومة يربط مكانها الهوائى وتؤخذ قياسات (S11) بالضغط على (measure) وهكذا تتم عملية قياس إشارة الانعكاس لكل الهوائيات.



شكل (2) جهاز التحليل الشبكي PNA- N5227A المستخدم في اجراء القياسات

فقد العودة (Reflection Loss or Return Loss) او فقد الارجاع هو مقياس لمقدار الطاقة التي ضاعت لأنها ارتدت وعادة الى المصدر بدل ان يمتصها الهوائى ويشير ارتفاع قيمة فقد العودة الى مطابقة ممتازة للمعاوقة في خطوط النقل او الأجهزة

(impedance match) ويؤدي ارتفاع قيمتها أيضا الى انخفاض في نسبة الموجة الموقوفة (SWR) [12].

يمكن حساب فقد الارجاع عن طريق المعادلة

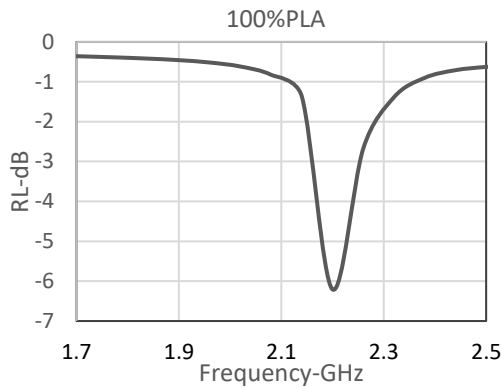
$$\text{Return Loss (RL)} = 10 \log(P_r/P_i) \quad (6)$$

حيث  $P_r$  الطاقة المرتدة و  $P_i$  الطاقة الداخلة

يمكن استنتاج نسبة القدرة الخطية باخذ الأس لطرف المعادلة (1) فتصبح المعادلة كالتالي:

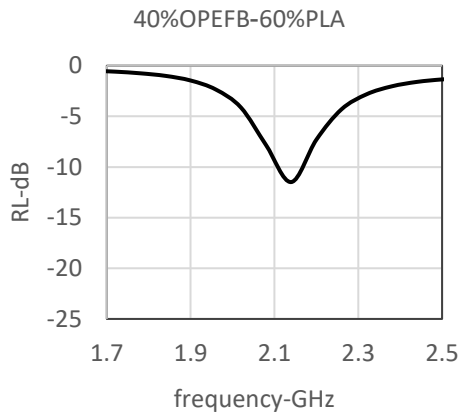
$$\text{Linear Power Ratio} = 10^{(S_{11} \text{ dB}/10)} \quad (7)$$

تم الحصول على قيم فقد الارجاع لكل الهوائيات من جهاز القياس على هيئة ملف يتم فتحه ببرنامج أكسل (Excel) وللتعرف على قيم وشكل (RL) يرسم بين قيم RL على المحور الرأسي وهذه القيم بوحدة dB وعلى المحور الأفقي التردد في نطاق 1 الى 4 جيجا هيرتز (GHz) كما هو موضح في الشكل (3) الهوائي الذي ركيزته تتركب من حمض اللاكتيك (100%PLA) ولا يوجد به أي نسبة من الالياف الطبيعية حيث كانت قيمة فقد الإرجاع للهوائي عند الرنين الرئيسي الذي حدث عند (2.2 GHz) هي (-6.206 dB) وتحسب نسبة القدرة الخطية من المعادلة رقم (2) فمثلا عند الترددات المنخفضة (1GHz) كانت قيمة (S11) هي (-0.153) تكون نسبة القدرة 96% وهذا يعنى ان هذه القدرة تنعكس بالكامل وهذا يشير الى ان هذا الهوائي لا يعمل عند هذا النطاق وبحساب القدرة عند تردد الرنين الرئيسي نجد نسبتها هي 24% وهذا يعنى ان 76% من قيمة الطاقة عند الرنين الرئيسي تم اشعاعها وهذا افضل أداء للهوائي



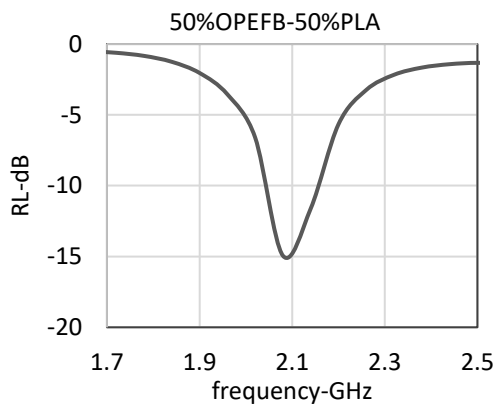
### شكل (3) فقد الارجاع مقابل التردد للهوائي 100%PLA

اما في الشكل التالي الشكل رقم (4) فيمثل فقد الارجاع وتردد الرنين الرئيسي للهوائي الذي ركيزته تتركب من (40%OPEFB, 60%PLA) فكانت قيم فقد الارجاع و الرنين الرئيسي هي (-11.488 dB) و (2.14 GHz) على التوالي، ومن الملاحظ انه حدث انزياح واضح في تردد الرنين الى القيم الأقل وهذا ما يتفق مع الدراسات السابقة التي تشير الى ان زيادة السماحية الكهربائية المعقدة الناتجة عن قطبية الألياف الطبيعية تؤدي الى تقليل سرعة انتشار الموجة وبالتالي الى خفض تردد الرنين [10]. يعزى زيادة نسبة السماحية الكهربائية عند خط البوليمر بالألياف الطبيعية الى الاستقطاب البيني بينهما وإحتواء الألياف الطبيعية على نسبة عالية من الهيروكسيل، لذلك زادت السماحية بزيادة نسبة الألياف المضافة من OPEFB التي بدورها لعبت دورا مهما في تغيير قيم تردد الرنين لركيزة هذا الهوائي [13]. وبحساب نسبة القدرة وجدت عند تردد الرنين الرئيسي 7.099% وهذا أفضل أداء للهوائي عند هذا التردد وبالمقارنة مع الهوائي السابق نجد انه حدث انزياح في تردد الرنين قيمته اقل من تردد الرنين في الهوائي ذي الركيزة 0% OPEFB



#### شكل (4) فقد الارجاع مقابل التردد للهوائي 60%PLA-40%OPEFB

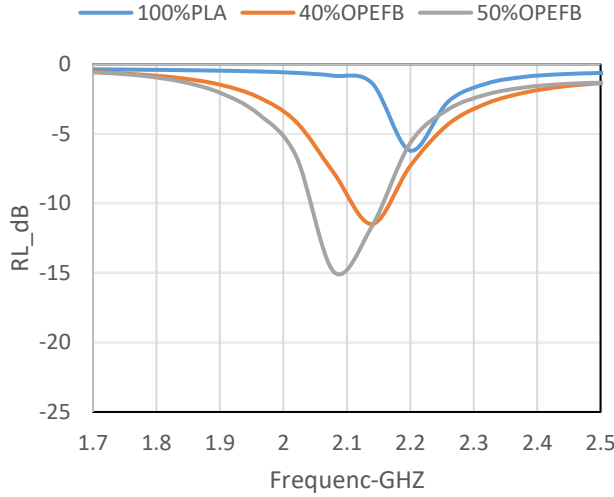
فزيادة نسبة الياف OPEFB لتصل الى 50% نرى زيادة الانزياح في تردد الرنين الى القيم الأقل كما هو موضح في الشكل (5)، حيث حدث الرنين الرئيسي عند (2.08 GHz) وسجل فقد الارجاع (-14.946 dB) وعند حساب نسبة القدرة نجدها 3.20% وهذا يشير الى نسبة قدره منعكسة منخفضة جدا مما يعنى ان معظم القدرة موجهة للإشعاع وليس الانعكاس ، ويعزى هذا التحسن في انخفاض القدرة المنعكسة الى التقارب بين الممانعة المميزة للركيزة (characteristics impedance) ومقاومة خط نقل التغذية ( $50\Omega$ ) الذى سببه زيادة نسبة الألياف التي ساهمت في تعديل السماحية الكهربائية للمركب المكون للركيزة [14].



### شكل (5) فقد الارجاع مقابل التردد للهوائى 50%PLA-50%OPEFB

ومن الملاحظ ان انخفاض قيم تردد الرنين يتناسب عكسيا مع زيادة نسبة الياف OPEFB في المركب، بينما عمق فقد العودة يتناسب طرديا مع زيادة نسبة الاليف

كما هو موضح في الشكل (6)



### شكل (6) فقد الارجاع مقابل التردد لجميع الهوائيات المقاسة تجريبيا

الجدول رقم (1) يبين قيم انزياح تردد الرنين والقدرة المنعكسة لجميع العينات حيث انزاحت القيم من 2.2 GHz الى 2.14 GHz ثم الى 2.08 GHz وانخفضت القدرة المنعكسة من 23.9% الى 7.01% ثم الى 3.20% وذلك مع زيادة نسبة الألياف في المركب، نلاحظ من الجدول تحسن مواءمة الممانعة حيث سجل الهوائى 0% ألياف فقد ارجاع ضعيف نسبيا ومع زيادة نسبة الألياف الى 50% تحسن هذا الفقد بشكل كبير ليصل الى -14.946 dB وهذا يشير الى ان الخصائص الكهربائية اصبحت اكثر توافقا مع ممانعة المصدر

## جدول رقم (1) قيم فقد الإرجاع والقدرة المفقودة لجميع العينات

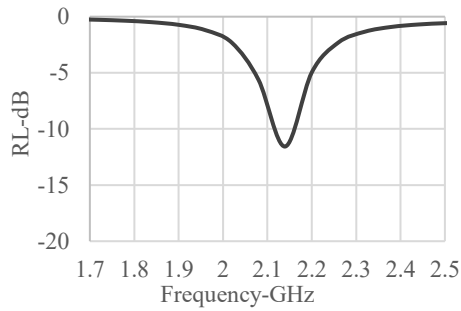
نوع الركيزة	التردد GHz	فقد الإرجاع dB	نسبة القدرة المنعكسة (خطيا)	التفسير (نسبة مئوية)
100%PLA	2.2	-6.206	0.239	%23.9
-40%OPEFB 60%PLA	2.14	-11.488	0.071	%7.01
-50%OPEFB 50%PLA	2.08	-14.946	0.032	%3.20

## 4. المقارنة بين القياسات العملية والمحاكاة

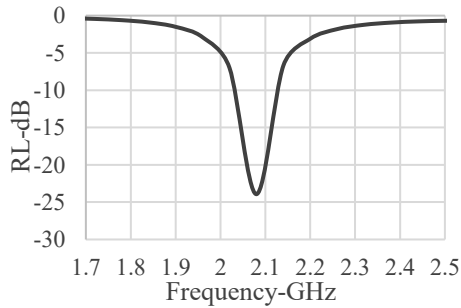
لمحاكاة تم استخدام برنامج كومسل بتصميم ثلاثي الأبعاد للهوائي وإدخال قيم السماحية الكهربائية المركبة المحسوبة من المعادلات 2، 3 الموضحة في الجدول رقم (2) التي بينت ان السماحية ازدادت بزيادة إضافة الألياف، وقد اظهرت النتائج كما هو موضح في الشكل 7، 8، و9 ان تردد الرنين سجل القيم 2.04 GHz, 2.14 GHz على التوالي وهذه القيم تطابق القياسات العملية من ناحية السلوك حيث ان تردد الرنين انزاح الى القيم الأقل كما هو مبين في الشكل (10) الا ان هناك خطأ نسبي بين القيم المقاسة والمحاكاة فبلغت نسبة الخطأ بين الترددات للهوائي 0% الياف حوالي 2.88% هذا التفاوت يتوافق مع النتائج الواردة في الأبحاث العلمية المتعلقة ويرجع ذلك الى عدم تجانس المواد العازلة في مركبات الألياف الطبيعية ونتيجة لتفاوت ابعاد التصنيع [15] [16] ، في حين سجلت النتائج الأخرى تفاوت في الحدود المسموح بها فسجلت للهوائي 40% الياف 2.8% وللهوائي 50% الياف نسبة خطأ قدرها 2.88% وهي نفس النسبة الأولى، ومن الملاحظ أيضا الفرق الواضح في عمق S11 ويعزى هذا السبب غالبا الى فقد الطاقة عند الوصلات واللحام [17].

## جدول رقم (2) قيم السماحية الكهربائية المركبة

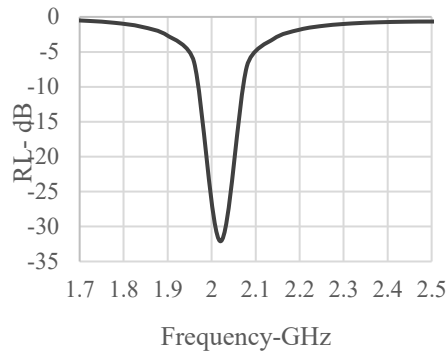
السماحية الكهربائية	نوع الركيزة
$\epsilon_r = 2.9 - j0.077$	100%PLA
$\epsilon_r = 3.07 - j0.137$	60%PLA-40%OPEFB
$\epsilon_r = 3.25 - j0.155$	50%PLA-50%OPEFB



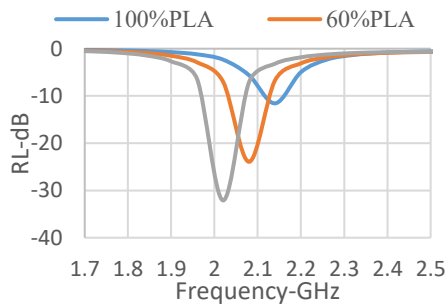
## شكل (7) فقد الارجاع مقابل التردد للهوائي 100%PLA محاكاة



## شكل (8) فقد الارجاع مقابل التردد للهوائي 60%PLA-40%OPEFB محاكاة



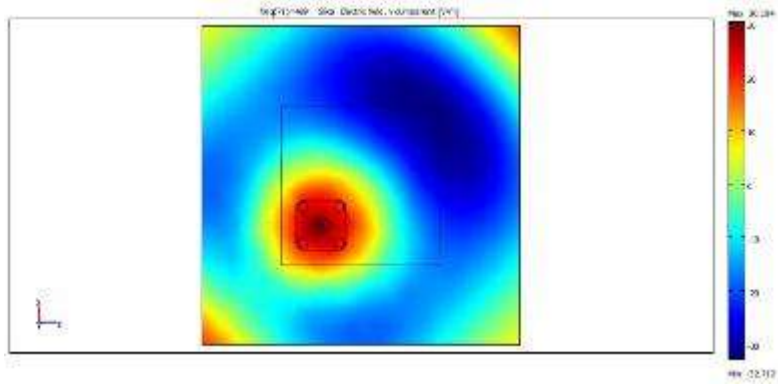
شكل (9) فقد الارجاع مقابل التردد للهوائى 50%PLA-50%OPEFB محاكاة



شكل (10) فقد الارجاع مقابل التردد لجميع الهوائيات محاكاة

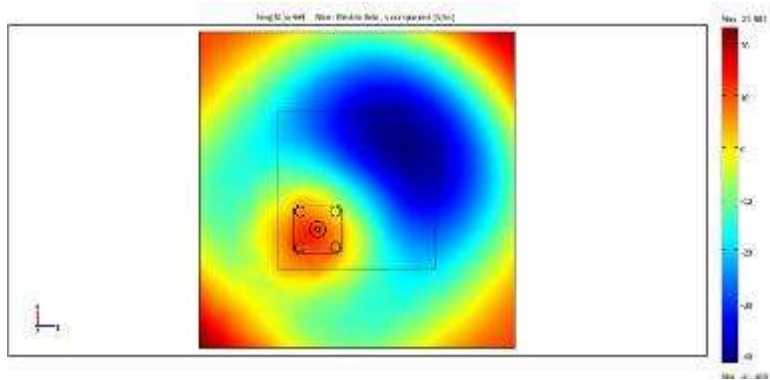
### 5. توزيع المجال الكهربائي

نتائج المحاكاة والقياسات العملية أظهرت تحسنا ملحوظا في أداء الهوائي عند تدعيم ركيزة البوليمر PLA بألياف OPEFB وكما هو موضح في الجدول (1) و في الأشكال (9) و (10) حيث بينت تحسنا تدريجيا في موءمة الممانعة وانزياح تردد الرنين وهو ما يمكن تفسيره فيزيائيا من خلال توزيع المجال الكهربائي، ومن خلال مقارنة المجال الكهربائي للهوائيات الثلاث نلاحظ تحولا كبيرا في كثافة الطاقة داخل ركيزة الهوائي



(11) توزيع المجال الكهربائي للهوائي 0% الياف زيت النخيل

الملاحظ من توزيع المجال الكهربائي في الشكل (11) للعينة 100% بوليمر و 0% الياف الذي تمثله الألوان المبينة ان اللون الأزرق الغامق هو السائد وهو يشير الى شدة مجال منخفضة جدا بينما اللون الأحمر يشير الى شدة مجال عالية جدا و كما هو مشاهد عند محور التغذية، هذا الخمول الكهرومغناطيسي يفسر القيمة المتدنية لفقد الإرجاع حيث تفشل الركيزة في تخزين الطاقة واحداث الرنين المطلوب [18].

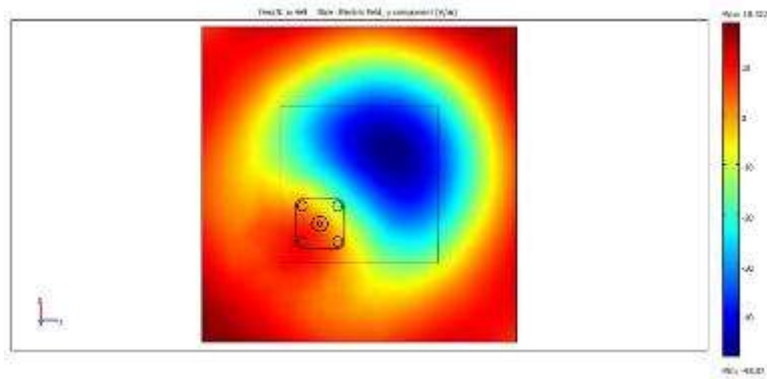


(12) توزيع المجال الكهربائي للهوائي 40% الياف زيت النخيل

يظهر الشكل (12) تقلص في اللون الأزرق وزيادة رقعة اللون الأحمر وخاصة عند الأطراف ويشير هذا الى زيادة كثافة المجال الكهربائي وتحسن تدريجي في أداء الهوائي عند هذا الرنين، ومع زيادة نسبة الياف OPEFB لتصل الى 50% يلاحظ

من الشكل (13) ان كثافة المجال الكهربائي تزداد زيادة عالية باللون الأحمر المركز تحت الرقعة المعدنية وعند الحواف الإشعاعية. [19]

كثافة المجال الكهربائي هذه تثبت حدوث رنين قوى وموامة فعالة للممانعة حيث انخفضت القدرة المنعكسة الى أدنى مستوياتها ويعزى هذا التحسن الى زيادة السماحية النسبية للمركب حيث تعمل الألياف الطبيعية نظرا لقطبيتها العالية الى تعزيز قدرة المادة على تركيز خطوط المجال الكهربائي عند أطراف الهوائي مما يزيد من كفاءة الإشعاع [20].



(31) توزيع المجال الكهربائي للهوائي 50 % الياف زيت النخيل

## 6. الخاتمة

قدم هذا البحث دراسة شاملة حول تصميم وتصنيع هوائي رقعي يعتمد على ركيزة مستدامة مكونة من حمض اللاكتيك (PLA) المدعم بألياف زيت النخيل (OPEFB) أظهرت النتائج ان دمج الياف زيت النخيل أدى تحسن جوهري في الأداء الكهرومغناطيسي للهوائي مقارنة بالبوليمر النقي، حيث أظهرت إضافة الياف OPEFB الى انزياح تردد الرنين الى القيم الأدنى كما ساهمت تحسن موامة الممانعة وخفض القدرة المنعكسة من 23.9% في حالة البوليمر النقي الى 3.20% عند نسبة تدعيم 50% مع وصول فقد الإرجاع الى -14.946 ديسيبل. أظهرت

المقارنة بين القياسات والمحاكاة توافقا عاليا بنسبة خطأ لا تتجاوز 2.88% مما يؤكد موثوقية النموذج المستخدم للمحاكاة التي اثبتت ان توزيع المجال الكهربائي وصل الى اقصى شدة له عند نسبة 50% الياف.

تؤكد هذه الدراسة ان المواد المركبة القائمة على الألياف الطبيعية لا توفر حلا صديقا للبيئة فقط ومنخفض التكلفة فحسب، بل تقدم أداء تقني منافسا يؤهلها لتكون بديلا واعدا للركائز التجارية التقليدية في تقنيات الاتصالات اللاسلكية.

## 7. المراجع

- [1] H. A. Alsawaf and A. E. Kanaan, "Rectangular and circular antennas design for Bluetooth applications," *Telkomnika (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, vol. 21, no. 1, pp. 8–17, Feb. 2023, doi: 10.12928/TELKOMNIKA.v21i1.21824.
- [2] M. S. Rana *et al.*, "At 28 GHz microstrip patch antenna for wireless applications: a review," Apr. 01, 2024, *Universitas Ahmad Dahlan*. doi: 10.12928/TELKOMNIKA.v22i2.25114.
- [3] A. Puran and Ş. T. İmeci, "Design and analysis of compact dual resonance patch antenna," *Heritage and Sustainable Development*, vol. 2, no. 1, pp. 38–45, Jun. 2020, doi: 10.37868/hsd.v2i1.37.
- [4] Stuart O. Nelson, *Dielectric Properties of Agricultural Materials and their Applications*. Elsevier, 2015. doi: 10.1016/C2014-0-02694-9.
- [5] I. McKay, J. Vargas, L. Yang, and R. M. Felfel, "A Review of Natural Fibres and Biopolymer Composites: Progress, Limitations, and Enhancement Strategies," *Materials*, vol. 17, no. 19, p. 4878, Oct. 2024, doi: 10.3390/ma17194878.
- [6] F. A. Purwandari *et al.*, "Pretreatment of oil palm empty fruit bunch (OPEFB) by N-methylmorpholine-N-oxide (NMMO) for biogas production: Structural changes and digestion improvement," *Bioresour Technol*, vol. 128, pp. 461–466, Jan. 2013, doi: 10.1016/j.biortech.2012.10.088.

- [7] N. Athirah Mohamad Radzi, A. Helmi Sofian, and S. Shima Jamari, “Structural studies of surface modified oil palm empty fruit bunch with alkaline pre-treatment as a potential filler for the green composite,” 2020.
- [8] “Microwave\_Engineering\_David\_M\_Pozar\_4ed\_Wiley\_2012”.
- [9] M. F. Ahmed, M. H. Kabir, and A. Z. M. T. Islam, “Impact of Feed Point Position on Patch Antenna’s Return Loss and Bandwidth for UWB Applications,” *Journal of Multidisciplinary Applied Natural Science*, vol. 4, no. 1, pp. 30–38, Jan. 2024, doi: 10.47352/jmans.2774-3047.158.
- [10] M. Samet, A. Kallel, and A. Serghei, “Maxwell-Wagner-Sillars interfacial polarization in dielectric spectra of composite materials: Scaling laws and applications.”
- [11] C. A. Balanis, *ANTENNA THEORY ANALYSIS AND DESIGN THIRD EDITION*. [Online]. Available: [www.copyright.com](http://www.copyright.com).
- [12] I. Elfergani *et al.*, “An Economic Low-profile Elliptical Microstrip Antenna-to-RWG Transition for Microwave Laboratory and X-Band Applications,” Mar. 20, 2023. doi: 10.21203/rs.3.rs-2357185/v1.
- [13] K. E. Kedze, H. Wang, Y. B. Park, and I. Park, “Substrate Dielectric Constant Effects on the Performances of a Metasurface-Based Circularly Polarized Microstrip Patch Antenna,” *Int J Antennas Propag*, vol. 2022, 2022, doi: 10.1155/2022/3026677.
- [14] A. F. Ahmad, S. A. Aziz, Y. Yaakob, N. A. Issa, and A. A. Ali, “Preparation and characterization of semi-flexible substrates from natural fiber/nickel oxide/polycaprolactone composite for microstrip patch antenna circuitries for microwave applications,” *Polymers (Basel)*, vol. 12, no. 10, pp. 1–20, Oct. 2020, doi: 10.3390/polym12102400.
- [15] N. S. I. Didik Aprianto, N. I. I. Mohd Nadzri, N. Mustafa, M. H. Azmeer Ab Malek, A. A. Mohd Faudzi, and M. S. Abdul Karim, “A Development of Dielectric Composite Substrate Based on Barium Titanate-Epoxy Resin for a 5 GHz Microstrip Antenna,” in *International Exchange and Innovation Conference on Engineering and Sciences*, Kyushu University, 2024, pp. 1263–1268. doi: 10.5109/7323418.

- [16] M. Jacob, K. T. Varughese, and S. Thomas, "Dielectric characteristics of sisal-oil palm hybrid biofibre reinforced natural rubber biocomposites," *J Mater Sci*, vol. 41, no. 17, pp. 5538–5547, Sep. 2006, doi: 10.1007/s10853-006-0298-y.
- [17] A. E. E. Rogers, "EDGES MEMO #132 MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY HAYSTACK OBSERVATORY."
- [18] Z. Awang, N. A. M. Affendi, N. A. L. Alias, and N. M. Razali, "Flexible Antennas Based on Natural Rubber," 2016.
- [19] I. J. Bahl and P. Bhartia, "Leaky-wave antennas using artificial dielectrics at millimeter wave frequencies," *IEEE Trans Microw Theory Tech*, vol. 28, no. 11, pp. 1205–1212, Nov. 1980, doi: 10.1109/TMTT.1980.9577046.
- [20] D. Vimukthi, E. Jayamani, K. H. Soon, J. Subramanian, and R. R. Sankar, "Analysis of dielectric resonator antenna using natural fiber reinforced polymer composites," in *Materials Today: Proceedings*, Elsevier Ltd, 2024, pp. 548–552. doi: 10.1016/j.matpr.2023.08.363.