



## دراسة تأثير تغيير القطر الخارجي لملف الأرسال على اداء منظومة نقل للطاقة مستخدمة في الأغراض الطبية لأجهزة مزروعة داخل جسم الإنسان

\*اللالة عبد القادر الأمير عمران و محمد مسعود أبوالعوينات

قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة سبها، ليبيا

### الكلمات المفتاحية:

الربط بالاقتران الحثي  
الربط بالرنين المغناطيسي  
المحاثية التبادلية  
المحاثية الذاتية معدل الامتصاص  
النوعي  
نقل الطاقة لاسلكياً

### المخلص

تعتمد كفاءة وقدرة تحويل القدرة أو الطاقة الكهربائية في منظومة نقل الطاقة لاسلكياً من نقطة إلى أخرى بشكل أساسي على تردد التشغيل ونوع وشكل وإبعاد الملفات المستخدمة، حيث تلعب الملفات الدور الأعظمي في ربط الفيض المغناطيسي ما بين نقطتي الأرسال و الأستقبال. استهدفت هذه الورقة دراسة تأثير تغيير القطر الخارجي لملف الأرسال على اداء منظومة نقل للطاقة مستخدمة في الأغراض الطبية لأجهزة مزروعة داخل جسم الإنسان من خلال محاكاة لأداء المنظومة بأستخدام لغة الماتلاب. أظهرت النتائج المتحصل عليها التأثير المباشر والفعال لتغيير القطر الخارجي لملف الأرسال على المحاثية التبادلية، معامل الاقتران، القدرة المنقولة للحمل، معدل الامتصاص النوعي SAR وكذلك كفاءة المنظومة. وبينت النتائج إن كلما زاد القطر الخارجي لملف الأرسال مقارنة مع القطر الخارجي لملف الأستقبال كلما قلت المحاثية التبادلية وانخفض معامل الاقتران والقدرة المحولة ومعدل الامتصاص SAR وفي جميع الأحوال لم يتجاوز معدل الأمتصاص النوعي الحدود المسموح بها.

## Studying the Effect of Changing the Outer Diameter of the Transmitter Coil on the Performance of Wireless Power Transfer System used for Medical Purposes for Devices Implanted inside the Human Body

\*Allah A. Omran, M. M. Abulaweenat

Department of Physics, College of Science, Sebha University, Libya

### Keywords:

Inductive coupling  
Magnetic resonance coupling  
Mutual inductance  
Self inductance  
Specific absorption rate  
Wireless power transmission

### ABSTRACT

The efficiency and ability of transferring power or electrical energy in a wireless power transmission system from one point to another depends mainly on the operating frequency and the type, shape and dimensions of the coils used as the coils play the greatest role in linking the magnetic flux between the transmitting and receiving points. This paper aimed to study the effect of changing the outer diameter of the transmission coil on the performance of an energy transmission system used for medical purposes for devices implanted inside the human body through a simulation of the system's performance using the Matlab language. The obtained results showed the direct and effective effect of changing the outer diameter of the transmitting coil on the mutual inductance, coupling coefficient, the transferred power to the load, the specific absorption rate SAR, as well as the efficiency of the system. The results showed that the greater the outer diameter of the transmitting coil compared to the outer diameter of the receiving coil the lower the mutual inductance, the lower the coupling coefficient, the transformed power, and the SAR absorption rate. In all cases, the specific absorption rate did not exceed the permissible limits.

### المقدمة

البطارية المزروعة داخل العضو البيولوجي . حيث أصبح بالإمكان تصغير حجم الجهاز المزروع والتخلص من البطارية وهذا يزيد من عمر الجهاز المزروع

في جميع أنحاء العالم يتم إيلاء اهتمام خاص بالأجهزة الطبية المزروعة في الجسم القابلة للشحن لاسلكياً، وذلك لتوفيرها حلول لمضاعفات ناجمة من

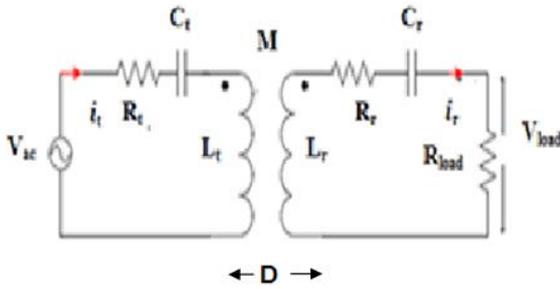
\*Corresponding author:

E-mail addresses: [all.omran@sebhau.edu.ly](mailto:all.omran@sebhau.edu.ly), (M.M.Abulaweenat) [Moh.Abulaweenat@sebhau.edu.ly](mailto:Moh.Abulaweenat@sebhau.edu.ly)

Article History : Received 30 March 2021 - Received in revised form 17 August 2021 - Accepted 19 September 2021

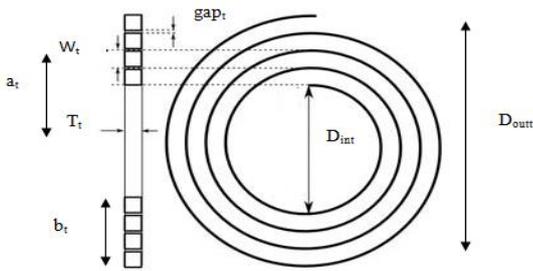
6 mm remot لشحن الأجهزة الطبية الدقيقة المزروعة في الجسم و استطاع من تحسين قدرة الشحن حيث كان نوع الملفات مربعة مسطحة القطر الخارجي لملف الإرسال 80 mm و للملف المزروع 12 mm عند مسافة زرع 6 mm و تم الحصول علي قدرة منقولة 554 μW [8]

النموذج المستخدم لمحاكاة برنامج نقل الطاقة لاسلكياً تم تصميم برنامج بلغة الماتلاب لمحاكاة نقل الطاقة لاسلكياً لشحن جهاز مزروع في جسم الإنسان على عمق 6 mm، الشكل (1) يوضح مكونات الدائرة الأساسية للمنظومة والتي تحتوي علي ملفي إرسال واستقبال ومكوناتها الداخلية موصلة علي نمط توالي - توالي .



الشكل 1 : مخطط دائرة الإرسال والاستقبال .

تم محاكاة المنظومة باستخدام الربط بالرنين المغناطيسي حيث تكون المحاثة الذاتية لملف الإرسال مساوية للمحاثة الذاتية لملف الاستقبال وبذلك يتم نقل أكبر قدر من الطاقة وزيادة مدي الإرسال ، ونتيجة للمحاثة الذاتية لملف الإرسال وبسبب مرور تيار متردد فيه ينشأ الفيض المغناطيسي الذي بدوره يربط ملف الاستقبال وينشأ فيه تيار و يصل إلي الحمل ، الملفات التي تم اعتبارها هي ملفات حلزونية مسطحة spiral coil تحتوي علي العديد من الملفات تفصلها فجوات محددة كما في شكل (2) ، والمحاثة الذاتية لملف الإرسال  $L_t$  تعطي بالعلاقة التالية [9] :



شكل 2 : أبعاد ملف حلزوني مسطح .

$$L_t = \frac{(0.03937)(N_t a_t)^2}{(8a_t + 11b_t)} \quad (\mu H, mm) \quad (1)$$

$$b_t = \frac{(D_{outt} - D_{int})}{2} \quad (2)$$

$$a_t = \frac{(D_{outt} + D_{int})}{4} \quad (3)$$

$$D_{int} = D_{outt} - (2N_t + 1)w_t - (2N_t - 1)gap_t \quad (4)$$

حيث  $N_t$  عدد لفات ملف الإرسال

$a_t$  المسافة من مركز الملف إلي منتصف عرض ملف

ويقلل من خطر العمل الجراحي كل 8 إلي 10 سنوات لاستبدال البطارية والوقاية من الالتهابات الناجمة من المواد الكيميائية الموجودة في البطارية وتمكن المريض من مزاوله نشاطاته اليومية بكل سهولة [1-2] . وتعتبر طريقة الربط بالرنين المغناطيسي من أفضل الطرق والأكثر شيوعاً في الأونة الأخيرة لنقل الطاقة لاسلكياً وذلك لما يوفره من زيادة مدي الإرسال والقدرة المنقولة وكفاءة عالية . ومع تنامي استخدام الأجهزة اللاسلكية في السنوات الأخيرة أصبح من الضروري البحث عن وسائل متطورة لنقل الطاقة في الأجهزة المزروعة في الجسم لسهولة مزاوله المريض لنشاطاته اليومية [3] . تدرس هذه الورقة مدى تأثير تغيير القطر الخارجي لملف الإرسال علي أداء منظومة تستخدم لنقل الطاقة لاسلكياً للأجهزة الطبية المزروعة في جسم الإنسان لشحن بطاريات تشغيلها. و يتم ذلك من خلال مراقبة المحاثة التبادلية ومعامل الاقتران والقدرة المنقولة وكفاءة المنظومة ومعدل الامتصاص النوعي SAR في النسيج المحيط بالجهاز المزروع علي عمق 6 mm من سطح الجلد وتحتاج هذه الأجهزة إلي قدرة تشغيلية تتراوح ما بين 100 μW - 300 μW [3]

### الدراسات السابقة

أوضحت الدراسات في السنوات القليلة الماضية تحسناً ملحوظاً في الكفاءة ومدي الإرسال والقدرة المنقولة عبر الربط بالاقتران الحثي حيث قام Bo.Yin بمحاكاة تحليلية لنقل الطاقة لاسلكياً في تطبيقات للأجهزة المزروعة في الدماغ (brain pacemaker) وكان نوع الملفات المستخدمة (flat spiral coils) [4] . ملف الإرسال متكون من طبقة واحد قطره الخارجي 45 mm وقطره الداخلي 10 mm بينما ملف الاستقبال قطره الخارجي 23 mm وقطره الداخلي 7 mm ومسافة الزرع داخل العضو هي 3 mm ، والتردد المستخدم 13.56 MHz . تم تسجيل كفاءة للمنظومة % 45 عند مسافة الزرع و مقدار SAR في الرأس 2.19 W/Kg . قام A. A. Danilov بنقل الطاقة لاسلكياً لشحن الأجهزة المزروعة بالجسم [5] ، حيث تمت دراسة تأثير تغيير القطر الخارجي لملف الإرسال وذلك بفرض ثلاثة أقطار خارجية مختلفة وهي (25-27-29) mm وعدد لفات 24 والفجوة بين اللفات 0.4 mm إما ملف الاستقبال قطره الخارجي 25 mm وله نفس عدد اللفات والفجوة بين اللفات كما لملف الإرسال. لاحظ أن التحسينات التي قاموا بها علي الملفات ساهمت في زيادة في المحاثة التبادلية والمسافة الفاصلة بين الملفات كلما زاد القطر الخارجي لملف الأرسال والحصول علي كفاءة % 50 و قدرة محولة 2.8W عند مسافة زرع 13mm وكفاءة % 35 و قدرة محولة 2.4W عند مسافة زرع 16 mm . قام Nathan J.McDannold بشحن بطارية لقلب اصطناعي والجهاز المساعد للبطين الأيسر [6] ، باستخدام ملف إرسال مستطيل مسطح متكون من طبقتين بطول وعرض (24-30) cm علي الترتيب ، و تم الحصول علي قدرة منقولة 48W وكفاءة عالية % 80 ومعدل SAR لم يتجاوز الحدود المسموح بها اقل من 2 W/Kg عند مسافة الزرع 7.7 cm . قام Mokhalad Khaleel بتصميم برنامج بلغة MATLAB لمراقبة وتحفيز الأعصاب والعضلات مستخدماً طريقة الربط بالاقتران الحثي [7] . وكان نوع الملفين دائريين مسطحين أبعاد القطر الخارجي والداخلي لملف الإرسال (44 – 7.92) mm ، القطر الخارجي و الداخلي للملف المزروع mm (10.5 – 6.61) علي الترتيب ، والتردد المستخدم 6.78 MHZ و سجل كفاءة % 74.47 عند مسافة زرع

حيث  $\delta$  عمق القشرة و يؤثر فيها التردد ونوع مادة الملف : [17]

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu_0 \sigma}} \quad (15)$$

المقاومة الثابتة للملفي الارسال والاستقبال علي الترتيب تعطي بالعلاقة [18]

$$R_{dct} = \frac{l_t}{\sigma w_t T_t} \quad (16)$$

$$R_{dcr} = \frac{l_r}{\sigma w_r T_r} \quad (17)$$

حيث

$$\sigma = 5.8 \times 10^4 \text{ S/mm}$$

$l_t$  ،  $l_r$  طول سلك ملف الأرسال و الأستقبال

$f$  تردد الرنين

$\mu_0$  سماحية الفراغ ( $4 \pi \times 10^{-10} \text{ H/mm}$ )

$w_r$  ،  $w_t$  عرض سلك ملف الأرسال و الأستقبال

$T_r$  ،  $T_t$  سمك سلك ملف الأرسال و الأستقبال .

و يفرض ان المحاثية الذاتية للملف الارسال مساوية للمحاثية الذاتية للملف

الاستقبال لتحقيق الربط بالرنين المغناطيسي و عليه فان سعة مكثف ملف

الارسال تساوي سعة مكثف ملف الاستقبال  $C_t = C_r$  و المفاعلة الحثية للملف

الإرسال مساوية للمفاعلة الحثية للملف الاستقبال  $X_{L_t} = X_{L_r}$  و هذا يلغي

الجزء التخيلي في معادلة معاوقة دائرة الارسال و تصبح [19]:

$$Z_s = R_s + R_t \quad (18)$$

في حين معاوقة دائرة الاستقبال تصبح :

$$Z_L = R_{load} + R_r \quad (19)$$

حيث إن  $R_s$  مقاومة المصدر و  $R_{load}$  مقاومة الحمل.

و نتيجة للمحاثية التبادلية بين دائرة الارسال و الاستقبال و بأستخدام طريقة

نظرية الدوائر (circuit theory) للتحليل و بتطبيق قانون كيرشوف للجهد

على دائرتي الأرسال و الأستقبال و باعتبار الربط بالرنين المغناطيس [7]:

$$V_s = Z_s i_t + j \omega M i_r \quad (20)$$

$$0 = j \omega M i_t + Z_L i_r \quad (21)$$

حيث  $\omega = 2 \pi f$

$i_t$  ،  $i_r$  تيارات حلقتي الأرسال و الأستقبال

$M$  المحاثية التبادلية بين الدائرتين

لأيجاد التيار الكهربائي في الحلقات [7]:

$$I = [Z^{-1}] [V] \quad (22)$$

$$Z = \begin{bmatrix} Z_s & jMi \\ jMi & Z_L \end{bmatrix} \quad (23) \quad Mi =$$

$$\omega M \quad (24)$$

$$I = \begin{bmatrix} i_t \\ i_r \end{bmatrix} \quad (25)$$

و بحل هذه المعادلات نستطيع حساب كفاءة الدائرة  $\eta$  ، القدرة

الداخلة  $P_{in}$  ، القدرة المرسله  $P_t$  ، القدرة المستقبلية  $P_r$  ، القدرة

المحولة  $P_{load}$ :

$$\eta = \left( \frac{P_{load}}{P_{in} + P_t + P_r + P_{load}} \right) \times 100 \quad (26)$$

$$P_{in} = i_t^2 R_s \quad (27)$$

$$P_t = i_t^2 R_t \quad (28)$$

$$P_r = i_r^2 R_r \quad (29)$$

$$P_{load} = i_r^2 R_{load} \quad (30)$$

حجم النسيج المزروع فيه الجهاز يؤخذ علي شكل متوازي مستطيلات أبعاده

$$V = xyz \quad (\text{cm}^3) \quad (31)$$

الإرسال (متوسط نصف قطر ملف الارسال) ،

$b_t$  عرض ملف الارسال ،

$D_{out}$  القطر الخارجي لملف الارسال ،

$D_{int}$  القطر الداخلي لملف الارسال ،

$w_t$  عرض سلك ملف الارسال ،

$gap_t$  الفجوة بين اسلاك لفات ملف الارسال .

ونتيجة لوصول الفيض المغناطيسي إلي ملف الاستقبال ينشأ تيار متردد في

دائرة الاستقبال المزروعة داخل الجسم ويتكون حث تبادلي ما بين الملفين .

المحاثية الذاتية للملف الاستقبال والذي يجب إن تكون مساوية للمحاثية الذاتية

لملف الارسال لتحقيق الربط بالرنين المغناطيسي يعطي :

$$L_t = L_r = \frac{(0.03937)(N_r a_r)^2}{(8a_r + 11b_r)} \quad (5)$$

القطر الداخلي لملف الاستقبال يعطي بمعادلة [2]:

$$D_{inr} = .75 D_{outr} \quad (6)$$

حيث إن

$D_{outr}$  القطر الخارجي لملف الاستقبال

$D_{inr}$  القطر الداخلي لملف الاستقبال

$N_r$  عدد لفات ملف الأستقبال

$a_r$  المسافة من مركز ملف إلي منتصف عرض ملف

الاستقبال (متوسط نصف قطر ملف الاستقبال) ،

$b_r$  عرض ملف الاستقبال.

و للحصول علي  $N_r$

$$N_r = \sqrt{\frac{L_t(8a_r + 11b_r)}{(0.03937)a_r^2}} \quad (7)$$

و تعطي الفجوة بين لفات ملف الأستقبال  $gap_r$  بمعادلة [2]:

$$gap_t = \frac{D_{outr} - D_{inr} - (2N_r + 1)w_r}{(2N_r - 1)} \quad (8)$$

حيث  $w_r$  عرض سلك ملف الاستقبال .

تنشأ المحاثية التبادلية بين الملفين وتعطي كالتالي [3]:

$$M = \frac{\mu_0 \pi a_r^2 a_t^2 N_t N_r}{2(a_t^2 + D^2)^{3/2}} \quad (9)$$

حيث  $D$  المسافة الفاصلة بين الملفين

و معامل الاقتران [5]:

$$K = \frac{M}{\sqrt{L_t L_r}} \quad (10)$$

سعة مكثف الارسال التي يجب توصيلها مع ملف الارسال للتخلص من

السعات ما بين لفاته وتحقيق الرنين في دائرة الارسال تعطي بالعلاقة :

$$c_t = \frac{1}{\omega^2 L_t} = \frac{1}{(2\pi f)^2 L_t} \quad (11)$$

$$c_r = \frac{1}{\omega^2 L_r} = \frac{1}{(2\pi f)^2 L_r} \quad (12)$$

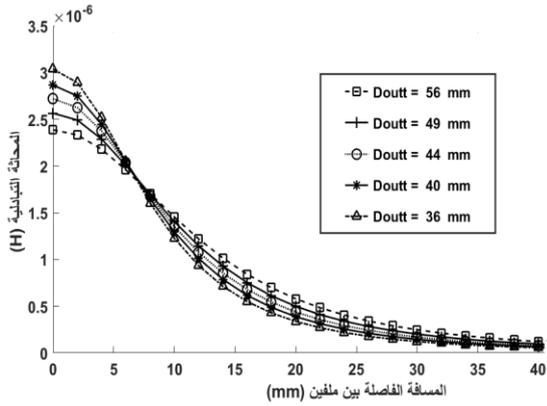
المقاومة او الجزء الحقيقي لمعاويتي لملفي الارسال و الاستقبال في حالة التيار

المتردد ( $R_t R_r$ ) تعطي بالعلاقة [12]:

$$R_t = R_{dct} \left[ \frac{T_t}{\delta \left( 1 - e^{-\left(\frac{T_t}{\delta}\right)} \right)} \right] \quad (13)$$

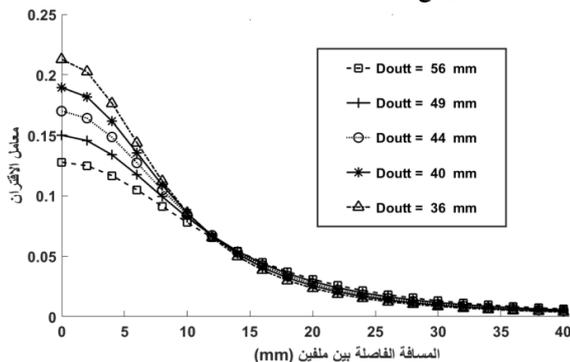
$$R_r = R_{dcr} \left[ \frac{T_r}{\delta \left( 1 - e^{-\left(\frac{T_r}{\delta}\right)} \right)} \right] \quad (14)$$

المتحصل عليهما إن المحائة التبادلية عند مسافة الزرع 6 mm تزداد كلما قل القطر الخارجي ملف الإرسال لتسجل اعلي مقدار للمحائة التبادلية عند القطر الخارجي 36 mm وهي 2.053H  $\mu$  و القطر الخارجي 40 mm كانت المحائة 2.0488  $\mu$ H ، و القطر الخارجي 44 mm مقدار المحائة 2.0345H  $\mu$  و القطر 49 mm كانت المحائة 2.0073  $\mu$ H وأخير عند القطر الخارجي ملف الإرسال 56 mm سجلت اقل قيمة للمحائة التبادلية وهي 1.9593H  $\mu$  ، وتبين النتائج إن زيادة القطر الخارجي ملف الإرسال زيادة كبيرة مقارنة مع شكل ملف الاستقبال بسبب تشتت الفيض المغناطيسي الواصل لملف الاستقبال وبالتالي انخفاض المحائة التبادلية.



شكل 3: المحائة التبادلية مع المسافة الفاصلة بين الملفين عند تغيير القطر الخارجي لملف الإرسال .

يوضح الشكل (4) العلاقة بين معامل الاقتران K والمسافة الفاصلة بين ملفي الإرسال والاستقبال عند تغيير القطر الخارجي لملف الإرسال ، يجب الأخذ بعين الاعتبار أن يكون معامل الاقتران اقل من الواحد . و من خلال الشكل نلاحظ أن معامل الاقتران يزداد كلما قل القطر الخارجي لملف الإرسال ومن جهة أخرى يقل معامل الاقتران مع زيادة المسافة الفاصلة بين الملفين لنفس الأسباب التي ذكرت سابقا ، حيث تبين النتائج إن اعلي مقدار لمعامل الاقتران هو 0.14376 عند القطر 36 mm وعند القطر 40 mm كان معامل الاقتران 0.13961 ، و القطر 44 mm مقدار معامل الاقتران 0.12718 ، أما القطر 49 mm كان معامل الاقتران 0.11736 واقل مقدار لمعامل الاقتران هو 0.10487 عند اكبر القطر وهو 56 mm ذلك عند مسافة الزرع 6 mm ، وكلما اقترب القطر الخارجي لملف الإرسال من قطر الخارجي لملف الاستقبال كلما زاد معامل الاقتران إلي إن يسجل اعلي قيمة عندما تساوي قطري الملفين ثم يرجع وينخفض مع زيادة القطر الخارجي لملف الإرسال وهذا يتفق مع [12] .



شكل 4: معامل الاقتران مع المسافة الفاصلة بين الملفين عند تغيير القطر

يعتبر معدل الامتصاص النوعي مقياس مهم لمعرفة مدى الضرر الناتج في النسيج نتيجة للحرارة و يعطي بالعلاقة [6] :

$$SAR (W/kg) = \frac{P_a (W/cm^2)}{m (Kg/cm^3)} \quad (32)$$

$$P_a = \frac{P_r + P_{load}}{V} \quad (33)$$

حيث ان  $P_a$  هي كثافة القدرة داخل النسيج .

معدل الامتصاص النوعي (SAR) في نسيج الإنسان ووفقاً لمنظمة Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)، تم تحديده بحيث لا يتجاوز 2W/Kg لكل 1 g من النسيج [10] .

إن دراسة انتقال الحرارة داخل النسيج تعتبر عملية معقدة حيث يجب دراسة العديد من العمليات مثل التوصيل وضح الدم والحمل الحراري ونشاط التمثيل الغذائي داخل النسيج ، لمعرفة التوزيع الحراري داخل النسيج المحيط بالجهاز المزروع يجب مراقبة مصدر الحرارة  $S(x,y,z,t)$  ومعدل الامتصاص النوعي للطاقة ، و يعطي التوزيع الحراري بالمعادلة:

$$\rho C \frac{dT}{dt} = \nabla \cdot k \nabla T(x,y,z,t) + S(x,y,z,t) \quad (34)$$

ولضمان سلامة النسيج من التلف الناجم من حرارة الجهاز المزروع يجب عدم تجاوز حرارة النسيج المحيط  $45^\circ C$  [11] .

#### النتائج والمناقشة

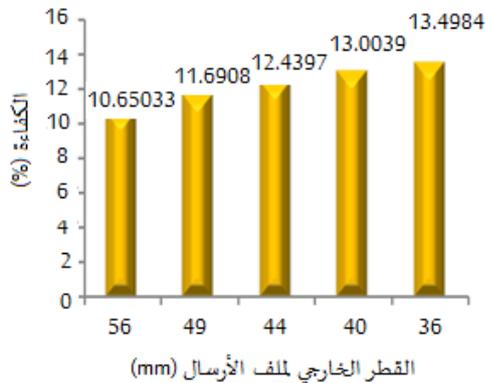
إن استخدام الربط بالرنين المغناطيسي في منظومة نقل الطاقة لاسلكيا يزيد من مدى الإرسال و يحسن الكفاءة و القدرة المنقولة للحمل ، وتم في هذه الدراسة فرض الأقطار الخارجية لملف الإرسال (36-40-44-49-56) mm وذلك لدراسة مدى تأثيرها علي أداء المنظومة. تم عرض النتائج المتحصل عليها علي شكل منحنيات توضح العلاقة ما بين الكميات الكهربائية التي توضح الأداء العام للمنظومة مثل القدرة المنقولة للملف المزروع ، كفاءة المنظومة ، المحائة التبادلية ، معامل الاقتران ، معدل الامتصاص النوعي للطاقة SAR والتوزيع الحراري ، و ذلك مع المسافة الفاصلة ما بين ملفي الإرسال والاستقبال و بالأخص عند مسافة الزرع 6 mm . يبين الجدول (1) البارامترات للدراسة المرجعية [7] التي سيتم معها مقارنة النتائج المتحصل عليها في هذه الدراسة.

الوصف	الرمز	ملف الإرسال	ملف الاستقبال
القطر الخارجي	$D_{out}(mm)$	44	10.5
القطر الداخلي	$D_{in}(mm)$	7.92	7.875
عدد اللفات	N	27	31.4
الفجوة بين اللفات	gap (mm)	0.2	0.0308
عرض سلك الملف	w (mm)	0.438	0.01
سمك سلك ملف	T (mm)	0.01	0.01

جدول 1: بارامترات ملفي الإرسال والاستقبال المستخدمة في الدراسة

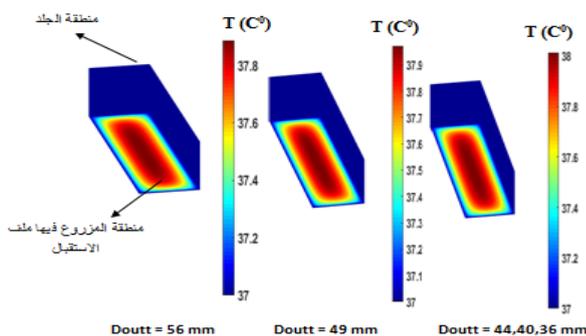
يوضح الشكل (3) العلاقة بين المحائة التبادلية والمسافة الفاصلة بين الملفين عند تغيير القطر الخارجي لملف الإرسال  $D_{out}$  ، نلاحظ من الشكل إن المحائة التبادلية تزداد كلما قل القطر الخارجي لملف الإرسال وتقل مع زيادة المسافة الفاصلة بين الملفين ، ويرجع السبب في انخفاض قيمة المحائة التبادلية مع المسافة للعلاقة العكسية بينهما كما موضح في المعادلة (9). وتبين النتائج

الإرسال عند مسافة الزرع 6 mm ، حيث نلاحظ من خلال الشكل إن كفاءة المنظومة تزداد كلما قل القطر الخارجي لملف الإرسال و سجلت اقل كفاءة % 10.6366 للقطر 56 mm ثم تزداد الكفاءة تدريجيا كل ما قل القطر الخارجي لملف الأرسال الى ان سجلت اعلى قيمة لها % 13.4984 لأصغر قطر خارجي 36 mm و يرجع سبب ارتفاع الكفاءة كلما قل القطر الخارجي إلي انخفاض قيمة مقاومة ملف الاستقبال و مقاومة ملف الإرسال مما أثر إيجابيا علي قدرة ملف الإرسال و ملف الاستقبال والقدرة المنقولة للحمل .



شكل 7: كفاءة المنظومة مع تغيير القطر الخارجي لملف الإرسال عند مسافة الزرع 6 mm.

يبين الشكل (8) العلاقة بين التوزيع الحراري داخل النسيج المزروع فيه ملف الاستقبال و تغيير القطر الخارجي لملف الإرسال عند مسافة الزرع ، حيث نلاحظ من خلال الشكل إن التوزيع الحراري يزداد زيادة طفيفا كلما قل القطر الخارجي لملف الأرسال ، وسجلت اعلى درجة حرارة داخل النسيج و هي  $38^{\circ}C$  عند كل من الأقطار (36-40-44) mm ثم انخفضت درجة الحرارة إلي  $37.9^{\circ}C$  عند القطر الخارجي لملف الإرسال 49 mm و  $37.7^{\circ}C$  عند القطر الخارجي 56 mm ، نلاحظ إن التغيير في القطر الخارجي لملف الإرسال لا يؤثر كثيرا على درجة حرارة النسيج المحيط بالملف المزروع .



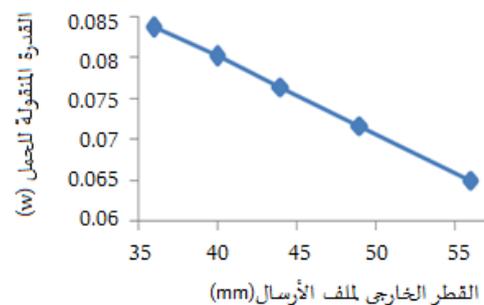
شكل 8: التوزيع الحراري داخل النسيج المحيط بملف الاستقبال عند تغيير القطر الخارجي لملف الإرسال عند مسافة الزرع .

#### الاستنتاج

تم في هذه الدراسة التحقق من تأثير تغيير القطر الخارجي لملف الأرسال على اداء منظومة نقل الطاقة لاسلكيا المستخدمة في الأغراض الطبية ، حيث اوضحت النتائج المتحصل عليها التأثير الفعال على اداء المنظومة عند التفاوت النسبي ما بين القطر الخارجي لملفي الأرسال و الأستقبال. وتبين إن زيادة القطر

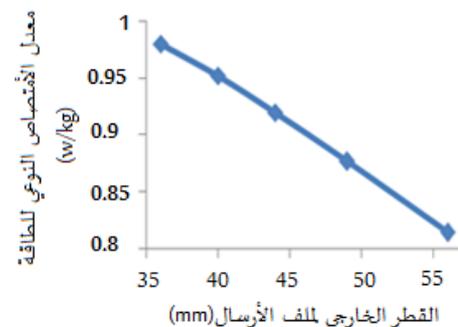
الخارجي لملف الإرسال .

يوضح الشكل (5) العلاقة بين القدرة المنقولة للحمل عند تغيير القطر الخارجي لملف الإرسال ، نلاحظ من الشكل تحسن في مقدار القدرة المنقولة كلما قل القطر الخارجي لملف الإرسال و تبين النتائج المتحصل عليها أن اعلى مقدار للقدرة المنقولة عند المسافة الزرع 6 mm سجلت 0.08362 W للقطر الخارجي 36 mm ، في حين نلاحظ عند نفس المسافة انخفاض القدرة المنقولة و هي 0.080124 W للقطر الخارجي 40 mm ، و يليها القطر 44 و كانت القدرة المنقولة 0.076389 W ، و أما القطر 49 mm انخفضت القدرة إلي 0.071617 W ، أما عند القطر 56 mm سجلت القدرة 0.065033 W ، و يرجع سبب انخفاض القدرة إلي زيادة تشتت الفيض بين الملفين كلما زاد قطر الخارجي لملف الإرسال.



شكل 5: القدرة المنقولة للحمل مع تغيير القطر الخارجي لملف الإرسال عند مسافة الزرع 6 mm.

يوضح الشكل (6) العلاقة بين معدل الامتصاص النوعي للطاقة في النسيج مع SAR مع تغيير القطر الخارجي لملف الإرسال ، حيث تبين النتائج المتحصل عليها عدم تجاوز المعدل المسموح به دوليا و إن معدل SAR يزداد كل ما قل القطر الخارجي لملف الإرسال ، و اعلى معدل امتصاص SAR في النسيج عند مسافة الزرع 6 mm هو 0.98052 W/Kg للقطر الخارجي 36 mm و يليه معدل الامتصاص 0.095223 W/Kg عند القطر 40 mm ، و أما القطر 44 mm انخفض معدل الامتصاص النوعي للطاقة إلي 0.92014 W/Kg و عند القطر 49 mm كان معدل SAR 0.87693 W/Kg و أخير القطر 56 mm كان معدل SAR 0.81408 W/Kg .



شكل 6: معدل الامتصاص النوعي للطاقة في النسيج مع تغيير القطر الخارجي لملف الإرسال عند مسافة الزرع .

الشكل (7) يوضح العلاقة بين كفاءة المنظومة مع تغيير القطر الخارجي لملف

الخارجي ملف الإرسال بالنسبة لملف الاستقبال يقلل من المحادثة التبادلية ومعامل الاقتران و القدرة المحولة للحمل و كذلك كفاءة المنظومة عند مسافة الزرع 6 mm و في جميع الأحوال لم يتجاوز معدل الأمتصاص النوعي SAR الحد المسموح به دولياً .

#### قائمة المراجع

- [1]- Fadlhel .Y, Ktata.S, Sedraoui.K. Rahmani.S. Al-Haddad.K. 2019, A Modified Wireless Power Transfer System for Medical Implants,pp2-3.
- [2]- Mutasher.S, Alghrairi.M.K. Sulaiman.N.B. 2014 , Analysis and Optimization of Spiral Circular Inductive Coupling link for Bio-Implanted Applications on Air and within Human tissue , KM University ,pp11523.
- [3]- Yusop. Y, Ismail.M. Othman.M.M. Sulaiman.H.A. Misran.M.H. Meor Said.M.A. Ismail.W.M.RW.2012 , Resonance Coupling Technique for Wireless Energy Transfer, IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE) ,ISSN: 2278-1676 Volume 2, Issue 5.
- [4]- Yang.Z , Wei.Z. Chi.H. Yin.C. Cong.Y. 2018 ,Simulation Analysis of Wireless Power Transmission System for Biomedical Applications, Materials Science and Engineering.
- [5]- Danilov.A, Mindubaev.E. Selishchev.S. 2018 ,The Effect of Transmitter Coil Size on the Optimal Implantation Depth of Receiver Coil in Transcutaneous Inductive Energy Transfer System ,Biomedical Engineering , Vol.51,No.
- [6]- Tang .S, Tim Lun.T.L. Guo.Z. Ka-Wai Kwok. J. McDannold.N . 2017, Intermediate Range Wireless Power Transfer With Segmented Coil Transmitters for Implantable Heart Pumps, IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 32, NO. 5.
- [7]- Tashar.S, Mohd Sidek.R.B. SulaimanN.B. Alghrairi.M.K.2016, OPTIMIZATION OF SPIRAL CIRCULAR COILS FOR BIO-IMPLANTABLE MICRO-SYSTEM STIMULATOR AT 6.78 MHz ISM BAND, VOL. 11, NO. 11ISSN 1819-6608, ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences .
- [8]- Kiline . E, Ghanad.M.A,Maloberti.F,Dehlain.C. 2014, A Remotely Powered Implantable Biomedical System With Location Detector , IEEE TRANSACTIONS.
- [9]- Aditya. K.2017, Analytical design of Archimedean spiral coils used in inductive power transfer for electric vehicles application, DOI 10.1007/s00202-017-0663-7.
- [10]- Otection,1998, GUIDELINES FOR LIMITING EXPOSURE TO TIME-VARYING ELECTRIC, MAGNETIC, AND ELECTROMAGNETIC FIELDS (UP TO 300 GHz), ICNIRP PUBLICATION .
- [11]- Gas, Piotr. "Tissue temperature distributions for different frequencies derived from interstitial microwave hyperthermia." arXiv preprint arXiv:1710.00671 (2017).
- [12]- Bosshard, R.Muhlethaler.J,Kolar.J.M,Stevanovic.I. "Optimized magnetic design for inductive power transfer coils." 2013 Twenty-Eighth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC). IEEE, 2013.