



وقائع مؤتمرات جامعة سبها  
Sebha University Conference Proceedings

Conference Proceeding homepage: <http://www.sebhau.edu.ly/journal/CAS>



## تأثير جهد التشغيل على هوائي المستخدم في علاج الأورام الكبدية باستخدام الترددات الراديوية

\*سدينة بشير الهادي المبروك و خديجة أبوبكر محمد أبوخزام

قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة سبها، ليبيا

### الكلمات المفتاحية:

الإتلاف بالترددات الراديوية  
جهد التشغيل  
خلايا الورم  
درجة الحرارة  
معادلة الحرارة الحيوية  
هوائي رباعي أذرع

### الملخص

الإتلاف بالتردد الراديوي هو نوع من أنواع العلاج بارتفاع الحرارة للسرطان، يستخدم موجات الراديو عالية التردد لتسخين وتدمير الخلايا السرطانية، يتم ادخال ابره رفيعة في الأنسجة البيولوجية ويتم امتصاص الإشعاع المنبعث من الهوائي بواسطة الانسجة ويؤدي إلى تسخين الخلايا السرطانية، يجب ان تصل زيادة درجة الحرارة إلى درجة معينة لتدمير الخلايا السرطانية أنه ولكن يجب أن تكون أقل من قيمة معينة لتجنب إتلاف الخلايا الطبيعية السليمة هذا هو السبب في يجب مراقبة علاج ارتفاع الحرارة بعناية ، وإن المحاكات العددية مفيدة ، وقد توفر معلومات قيمة ، حيث يتم حل معادلة الحرارة الحيوية ومعادلات ماكسويل باستخدام طريقة العناصر المحدودة في البرنامج الحاسوبي وتحليل الاثار الكهربائية والحرارية لمعرفة توزيع درجة الحرارة ، والجزء المتلف من الخلايا السرطانية، تناولت هذه الدراسة تأثير كل من جهد التشغيل وزمن التسخين على أداء الهوائي المستخدم في العلاج، حيث بينت النتائج المتحصل عليها ان التوزي درجة الحرارة والجزء المتلف من سرطان الكبد تتأثر بشدة بمعادلات جهد التشغيل وزمن التسخين.

## Effect of operating voltage on the antenna used in treating liver tumors using radiofrequency

\*S. B. Almbrok , K.A. Khazam

Physics, Sciences College, University Sebha, Libya

### Keywords:

Radiofrequency ablation  
Operating voltage  
Tumor cells  
Temperature  
Biothermal equation  
Four-arm antenna

### ABSTRACT

Radiofrequency ablation is a type of hyperthermia treatment for cancer that uses high-frequency radio waves to heat and destroy cancer cells. A thin needle is inserted into biological tissue, and the radiation emitted by the antenna is absorbed by the tissue and causes the cancer cells to heat up. The temperature increase must reach a certain degree to destroy cancer cells, but it must be less than a certain value to avoid damaging normal, healthy cells. This is why hyperthermia treatment must be carefully monitored, and numerical simulations are useful and may provide valuable information. The bioheat equation and Maxwell's equations are solved using the finite element method in the computer program and the electrical and thermal effects are analyzed to determine the temperature distribution. The damaged part of cancer cells. This study addressed the effect of both operating voltage and heating time on the performance of the antenna used in treatment. The results obtained showed that the temperature distribution and the damaged part of liver cancer are strongly affected by the equations of operating voltage and heating time.

### 1. المقدمة

بشكل كبير، أثارت مخاوف حول تأثيرات الموجات الكهرومغناطيسية على الصحة البشرية [1] واحدة من المخاوف الرئيسية التي تثار هي العلاقة بين الموجات الكهرومغناطيسية والسرطان. يعتقد البعض أن التعرض المطول لهذه الموجات قد يزيد من خطر الإصابة بأمراض السرطان. وعلى الرغم من أن

في العقود الأخيرة، شهدت المجتمعات التكنولوجية تطورًا هائلًا في استخدام الموجات الكهرومغناطيسية في مختلف جوانب الحياة اليومية. تشمل هذه الموجات المنبعثة من الأجهزة اللاسلكية، مثل الهواتف الذكية وأجهزة الواي فاي والأجهزة اللوحية، وكذلك الموجات المنبعثة من أجهزة الراديو والتلفزيون ومحطات الإرسال والأبراج اللاسلكية. ومع زيادة استخدام هذه التقنيات

\*Corresponding author:

E-mail addresses: [Sed.Almbrok@sebhau.edu.ly](mailto:Sed.Almbrok@sebhau.edu.ly)

Article History : Received 20 February 2025 - Received in revised form 01 September 2025 - Accepted 07 October 2025

بشكل أكبر لمعرفة تأثير سرعات تدفق الدم المتغيرة مع وعاء دموي بجوار الهوائي وأيضاً تأثير الوعاء الدموي مع مواقع الهوائي، وكشفت النتائج أن سرعة تدفق الدم وموقع الأوعية الدموية يؤثران على فعالية الإلتلاف وأن زيادة تدفق الدم تمنع انتقال الحرارة إلى جدار الوعاء الدموي [8].

تهدف هذه الورقة إلى دراسة تأثير جهد التشغيل على أداء هوائي الإبرة رباعي الأذرع (متحد المحور) المستخدم في علاج الأورام الكبدية بالترددات الراديوية، بهدف معرفة توزيع درجة الحرارة، والجزء المتلف من الخلايا السرطانية، وذلك باستخدام برنامج حاسوبي (comsolmultiphysics).

## 2. المواد وطرق العمل

تعتبر أورام السرطان في الكبد والثدي والكلى والعظام والرئة وغيرها من الأعضاء من أكثر أسباب الوفاة في العالم. علاوة على ذلك، لا يزال التفكير في السرطان مخيفاً. ويُعد سرطان الكبد مشكلة صحية عامة مهمة في جميع أنحاء العالم. هذا المرض لديه معدل وفيات 100% في 5 سنوات في الحالات غير المعالجة. تخضع تقنيات علاج السرطان للتطور المستمر ولا تزال موضوع بحث حالي للباحثين العلميين وكذلك للأطباء العاملين على الكشف السريري للأمراض وعلاجها. في السنوات الأخيرة كان هناك اهتمام كبير بتطوير طرق علاج السرطان، علاوة على ذلك تستخدم العديد من التقنيات على نطاق واسع لإنقاذ المرضى، ومع ذلك يتم الترحيب بالتقنيات الجديدة أيضاً؛ نظراً لأنها قد تقدم مساهمات معينة وقيمة مضافة للتقنيات المتاحة [11].

ارتفاع الحرارة هو علاج للسرطان فيُستفاد منه في تسخين خلايا الورم في الجسم بمستوى محدد، ورفع درجة حرارة الخلايا السرطانية يؤدي إلى حدوث آفات في غشاء الخلية مما يؤدي إلى تدمير الخلايا السرطانية. إن الأبحاث على ارتفاع الحرارة كعلاج مضاد للسرطان موجودة منذ سنوات عديدة، في الوقت الحاضر، يُستخدم ارتفاع الحرارة كمكمل للعلاج الإشعاعي والعلاج الكيميائي. ويتطلب علاج السرطان باستخدام ارتفاع الحرارة توليد كمية من الحرارة يتم التحكم فيها بشكل كافي داخل الورم السرطاني، إذا تعرضت لدرجة حرارة حوالي 52 درجة مئوية لمدة كافية، يمكن أن تُتلف أنسجة السرطان [5].

### • تسخين الأنسجة بالتردد الراديوي (RF)

يتم الإلتلاف عن طريق إرسال تيار متناوب عالي التردد من خلال قطب ذي أطراف غير معزولة؛ نظراً لأن الأطراف الغير معزولة تسمح للطاقة بالانتقال إلى الأنسجة المستهدفة المحيطة بالهوائي، ثم تحاول الأيونات في هذا النسيج إتباع نفس المسار للتيار المتناوب مما يؤدي إلى تحريضها الشكل (1)، مما يسبب تسخيناً احتكاكياً داخل الأنسجة بحيث لا يُسخن الهوائي نفسه، الأنسجة فقط، ويؤدي التسخين إلى تفكك البروتين وفقدان السوائل داخل الخلايا. وأخيراً يفقد النسيج المجفف قدرته على توصيل التيار. وتعتمد بعض طرق الإلتلاف بالتردد الراديوي على ارتفاع درجة حرارة الأنسجة المحيطة، بينما تعتمد إحدى الطرق على ارتفاع مستوى مقاومة الأنسجة لتيار [10,9].

هناك العديد من الدراسات والأبحاث المتعلقة بالموضوع، إلا أن هناك حاجة ملحة لمزيد من البحوث لفهم هذه العلاقة بشكل أفضل وتوضيح الآثار الصحية المحتملة للتعرض المطول للموجات الكهرومغناطيسية [2]

الموجات الكهرومغناطيسية هي موجات تنتشر في الفضاء وتتكون من مجال كهربائي ومجال مغناطيسي يتراوح ترددها وتردداتها بين نطاق معين. تشمل هذه الموجات نطاق واسع من الترددات، بدءاً من الموجات المنخفضة التردد مثل الموجات الصوتية والموجات اللاسلكية (مثل الموجات الراديوية والتلفزيونية)، وصولاً إلى الموجات عالية التردد مثل الأشعة فوق البنفسجية والأشعة السينية والأشعة الجاما [3]

تردد الموجة الكهرومغناطيسية يعبر عن عدد الدورات التي تمر بها الموجة في الوقت المحدد، ويقاس عادة بوحدة هرتز (Hz). فمثلاً، عندما يكون التردد 1 هرتز، فإن الموجة تمر بدورة واحدة في الثانية. وكلما ارتفع التردد، زاد عدد الدورات التي تمر بها الموجة في وقت محدد.

تعرض البشرية للموجات الكهرومغناطيسية بشكل يومي، سواء من مصادر طبيعية مثل الشمس، أو من مصادر صناعية مثل الأجهزة الإلكترونية وأبراج الاتصالات. هناك اهتمام واسع بالنسبة للتأثير الصحي لهذه الموجات، وخاصة فيما يتعلق بالعلاقة المحتملة بين الموجات الكهرومغناطيسية والسرطان [4] حتى الآن، فإن الأبحاث العلمية لم توجه إلى وجود علاقة قوية ومؤكدة بين الموجات الكهرومغناطيسية والسرطان. لجأت العديد من الهيئات العالمية المختصة بالصحة والسلامة، مثل منظمة الصحة العالمية والوكالة الدولية لأبحاث السرطان، إلى إجراء تقييمات شاملة للأبحاث المتاحة، وتوصلت إلى استنتاجات مشابهة [5]

على سبيل المثال، تقوم منظمة الصحة العالمية بتصنيف المجالات الكهرومغناطيسية في فئات مختلفة وفقاً لتأثيرها المحتمل على الصحة. وتشمل هذه الفئات المجالات الكهرومغناطيسية الغير محتمل أن تكون لها تأثير سرطاني، والمجالات التي قد تكون لها تأثير محتمل ولكن الأدلة ليست واضحة، والمجالات التي قد تكون لها تأثير محتمل ولكن الأدلة غير كافية، والمجالات التي قد تكون لها تأثير محتمل وهناك بعض الأدلة المتناقضة [6]

ومن الأمور المهمة التي تم التركيز عليها في الأبحاث هي مجالات الترددات العالية مثل الأشعة السينية والأشعة الغاما والأشعة فوق البنفسجية. هذه الموجات لديها قدرة على النفاذ إلى الأنسجة الحية بشكل أكبر وقد تسبب تغيرات في الخلايا والحمض النووي. ولكن الأبحاث لم تثبت بشكل قاطع أن استخدام هذه الموجات في الحياة اليومية يسبب السرطان [7].

الدراسات السابقة التي تناولت فيما يخص تأثير جهد التشغيل على أداء الهوائي الإبرة رباعي الأذرع المستخدم في علاج الأورام بالتردد الراديوي، قُدمت ورقة في عام (2019) من قبل Kelvin وآخرين الهدف منها مقارنة الإلتلاف بالميكروويف مع الإلتلاف بالترددات الراديوية من حيث تحقيق مناطق أكبر من الخلايا الورم المتلفة، ومراجعة عن توضيح المضاعفات الرئيسية بعد إلتلاف الورم بالميكروويف والتردد الراديوي في شكل تصويري، [7]. وقُدمت ورقة من قبل Supan Tungjitkusolmun في عام (2016) تهتم هذه الورقة بتحليلات الإلتلاف بالتردد الراديوي باستخدام هوائي بأذرع رباعية قطبية لأنسجة سرطان الكبد، تم استخدام نماذج العناصر المحددة ثلاثية الأبعاد لفحص توزيعات درجة حرارة الأنسجة أثناء وبعد الإلتلاف. تم إجراء دراسة أولية فيما يتعلق بمعدلات الامتصاص المحددة على طول أعماق إدخال الهوائي وتوزيعات درجة الحرارة داخل نماذج الكبد الصلبة، وتم فحص نماذج الكبد

## • وصف النموذج الرياضي المستخدم لامتنصاص التردد الراديوي في

## أنسجة الكبد

تمت صياغة نموذج رياضي للتنبؤ بالجهد التشغيل الذي يتم توصيلها من خلال هوائي رباعي الأذرع لنسيج الكبد الذي يحوي الورم وتوزيع درجة الحرارة فيه في إطار عملية RFA. كخطوة بدائية للدراسة، ويتم وضع بعض الافتراضات لتبسيط التحليل، وإن أنسجة الكبد هي مادة حيوية متجانسة. يمكن حل مجموعة المعادلات التي تصف انتشار الموجة الكهرومغناطيسية ونقل الحرارة من خلال طريقة العناصر المحددة (FEM) ولإيجاد الحل العددي لهذه المعادلات المقترنة بواسطة برنامج محاكاة في كمبيوتر هو (comsolmultiphysics) تم تقسيم المجال الحسابي المتماثل محورياً إلى عناصر مثلثية باستخدام وظائف الشكل التريبيجي [Lagrange][12].

## ○ تحليل انتشار الموجات الكهرومغناطيسية

تحكم معادلات ماكسويل لعلاقات المجالين الكهربائي والمغناطيسي المتغيرين زمنياً ومكانياً مع الشحنات والتيارات المرافقة للموجة الكهرومغناطيسية، أي يصبح المجالين الكهربائي والمغناطيسي مقرونين ببعضهما البعض، فالمجال الكهربائي المتغير مع الزمن ينتج مجالاً مغناطيسياً متغيراً مع الزمن، وكثافة تدفق الفيض المغناطيسي المتغيرة تنتج تغيراً في المجال الكهربائي، ويقودنا هذا إلى انتشار الموجة الكهرومغناطيسية [13].

تكتب معادلات ماكسويل بالصيغة التفاضلية في حالة المجالات الكهرومغناطيسية المتغيرة جيبياً أو توافقياً على الشكل:

$$\nabla \times \vec{E} = -j\omega \vec{B} \quad (1)$$

$$\nabla \times \vec{H} = j\omega \vec{D} + \vec{J} \quad (2)$$

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho \quad (3)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (4)$$

تنص معادلة ماكسويل الأولى (قانون فارادي) على أن التدفق المغناطيسي المتغير مع الزمن يولد مجالاً كهربياً يتمتع بخاصية الدوران ( $\nabla \times \vec{E} \neq 0$ ).

تنص معادلة ماكسويل الثانية (قانون أمبير) على أن التدفق الكهربائي المتغير مع الزمن يولد مجالاً مغناطيسياً يتمتع بخاصية الدوران ( $\nabla \times \vec{H} \neq 0$ ).

تنص معادلة ماكسويل الثالثة (قانون جاوس) على أن خطوط المجال الكهربائي يمكن أن تبدأ وتنتهي على الشحنات أو تكون مستمرة في حال ( $\rho = 0$ ). وتنص على أن كثافة الشحنة هي منبع لخطوط التدفق الكهربائي.

تنص معادلة ماكسويل الرابعة (قانون جاوس) على أن خطوط المجال المغناطيسي تكون دائماً مستمرة (مغلقة): لأنه لا يوجد شحنات مغناطيسية حرة في الطبيعة مثل الشحنات الكهربائية [14].

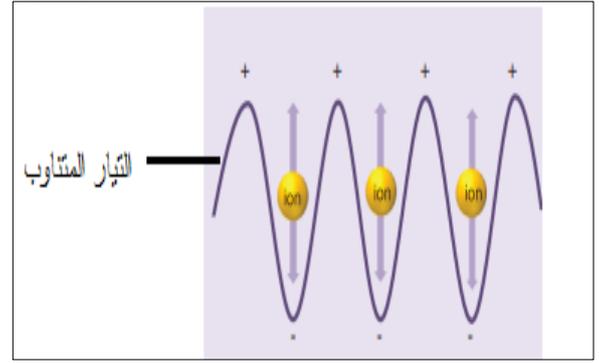
تتميز الموجة الكهرومغناطيسية المنتشرة من الهوائي بمجالات كهرومغناطيسية عرضية (TEM) في أنسجة الكبد، تعطى بالمجال الكهربائي  $\vec{E}$  والمجال المغناطيسي  $\vec{H}$  [15]:

$$\vec{E} = e_r \frac{C}{r} e^{j(\omega t - kz)} \quad (5)$$

$$\vec{H} = e_\phi \frac{C}{rZ} e^{j(\omega t - kz)} \quad (6)$$

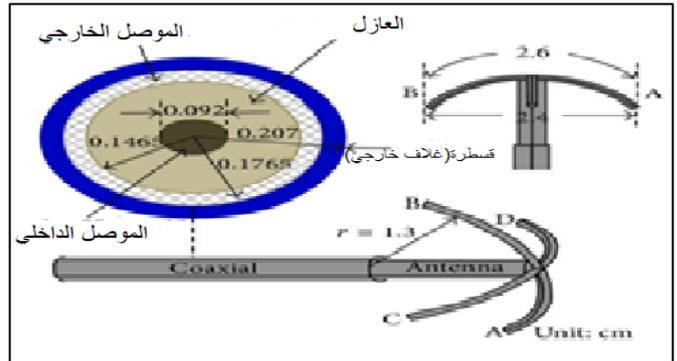
حيث إن k الرقم الموجي، و  $\omega$  التردد الزاوي، C سعة الموجة، و Z مقاومة الموجات للعزل الكهربائي حيث  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$  الرقم الموجي،  $\omega = 2\pi f$  التردد الزاوي، f التردد التشغيل، و  $\lambda$  طول الموجي،  $Z = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0 \epsilon_r}}$  مقاومة الموجات للعزل الكهربائي.

من أجل التبسيط والقضاء على الخطأ العددي يتم تصميم الموصلات



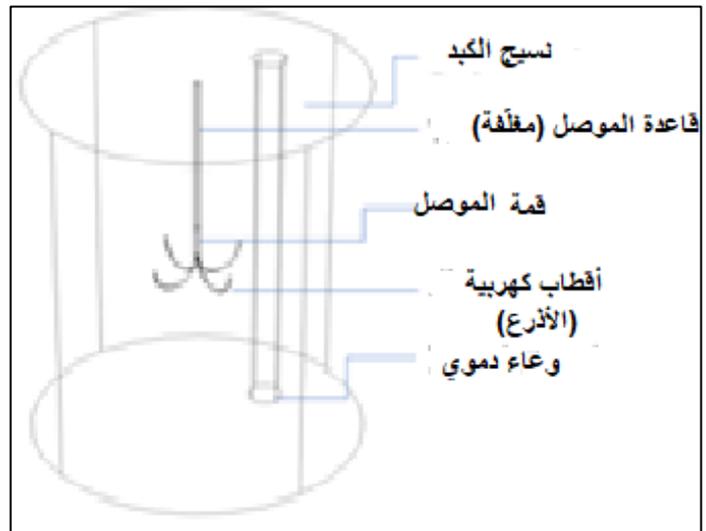
الشكل (1): يُبين الأيونات تحاول اتباع مسار التيار المتناوب [10].

يوضح الشكل (2) تصميم الهوائي المستخدم وهو هوائي متحد المحور به أربع أذرع، حيث وثق الباحثون مزايا التنشيط المتزامن لهوائيات متعددة لتحقيق مناطق إتلاف واسعة في خلايا السرطانية. ويتطلب استخدام أنظمة الهوائيات المتعددة تحديد المسافة المثلى بين الهوائيات لتحقيق أقصى منطقة إتلاف دون انبعاجات، لأن وجود هذه الانبعاجات يشير إلى تدمير غير كامل للورم المستهدف. لمعالجة مشكلة انبعاج الهوائيات المتعددة، يقدم هذا البحث الحالي هوائي رباعي الأذرع يعمل بالترددات الراديوية، في تصميم الهوائي يُوصل الموصل الداخلي للهوائي أحادي القطب بأربعة أذرع موصلة في ترتيب مصفوفة يشبه المظلة [11].



الشكل (2): تصميم الهوائي المستخدم [11].

يوضح الشكل (3) وصف النموذج المستخدم، حيث تعتبر أنسجة الكبد بمثابة هندسة أسطوانية، ويوجد وعاء يتدفق فيه الدم كما في الشكل أيضاً هوائي رباعي الأذرع المستخدم.

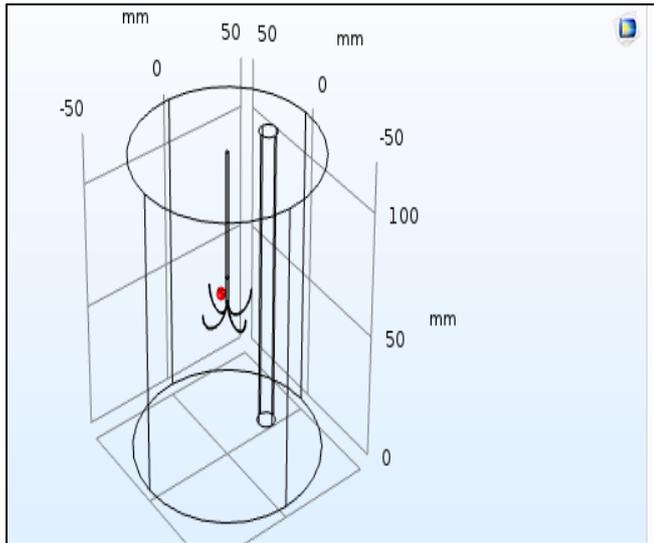


الشكل (3): تصميم النموذج المستخدم.

للسرطان، وذلك بالتسخين الكهرومغناطيسي، الهدف من العلاج الحراري هو إتلاف الورم ويعرف بأنه تسخين الأنسجة المستهدفة إلى مستويات عالية لتلف هذه الأنسجة. إن التقدم والتطورات الحديثة في الأنظمة والتكنولوجيا للهوائي المستخدم للعلاج الحراري أعطى للأطباء فرصة أكبر للتأثير على كميات أكبر من الأنسجة في وقت أقل.

وأجريت هذه الدراسة على النموذج المستخدم في علاج الأورام السرطانية في الكبد باستخدام التردد الراديوي بالاعتماد على الفرضيات التالية :-

- النموذج المستخدم معزول حرارياً تماماً بحيث لا يحدث تبادل حراري بين النموذج والمحيط؛ أي الأنسجة المحيطة.
- درجة حرارة الدم ثابتة (Tb=37°C=310.15K) وهي درجة الحرارة الابتدائية.
- كثافة الدم ثابتة عند (1000Kg/m<sup>3</sup>)، ويكون تدفق الدم لكل ثانية (0.0036 1/s). والخصائص الحرارية لنسيج الكبد تكون السعة الحرارية النوعية Cp=3540(J/Kg.K)، الموصلية الحرارية =0.52(W/m.K) وكثافة الكبد تكون ρ = 1079(Kg/m<sup>3</sup>)
- أخذت القراءات عند نقاط محددة على المجال الحسابي للنسيج الكبدي، والنقطة الأولى (P1) عند (X=-4 , y=0 , z=65) كما في الشكل (4). أما النقطة الثانية (P2) عند (X=-12 , y=0 , z=65) كما في الشكل (5). والنقطة الثالثة (P3) عند (X=-20 , y=0 , z=65) كما في الشكل (6).



الشكل(4): يُبين النقطة الأولى للمجال الحسابي لنسيج الكبد.

الداخلية والخارجية للهوائي كجدار موصل كهربائي مثالي (PEC):

$$\hat{n} \times \vec{E} = 0 \quad (7)$$

○ تحليل نقل الحرارة

إن معادلة بينز للحرارة الحيوية التي أدخلها (Pennes) [14] بناءً على معادلة انتشار الحرارة تستخدم لتحليل انتقال الحرارة في الأنسجة البيولوجية كما في [22, 23]. تصف معادلة الحرارة الحيوية العابرة بشكل فعال، كيف يحدث انتقال الحرارة في أنسجة الكبد؟ يمكن كتابة المعادلة على النحو التالي:-

$$\rho C \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (K_{th} \cdot \nabla T) + \rho_b c_b \omega_b (T_b - T) + Q_{met} + Q_{ext} \quad (8)$$

المصطلحات الأولى والثانية والثالثة والرابعة على الجانب الأيمن تشير إلى التوصيل الحراري، وتبديد الحرارة عن طريق تدفق الدم، ومصدر الحرارة الأيضية (يمكن إهمالها لصغر حجمها) ومصدر الحرارة الخارجي (توليد الحرارة بواسطة المجال الكهربائي)، على التوالي. حيث إن ρ كثافة النسيج، C السعة الحرارية لنسيج، K<sub>th</sub> ثابت التوصيل الحراري، ∇T تدرج درجة الحرارة في النسيج، ρ<sub>b</sub> كثافة الدم، c<sub>b</sub> السعة الحرارية للدم، ω<sub>b</sub> تدفق الدم [14].

في البداية، يفترض أن يكون توزيع درجة الحرارة داخل أنسجة منتظماً:

$$T(t_0) = 37 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (9)$$

بالإضافة إلى معادلة نقل الحرارة، يحسب هذا النموذج تلف الأنسجة المتكامل. هذا يعطي فكرة عن درجة إصابة الأنسجة α أثناء العملية، [25, 26]

بناءً على معادلة Arrhenius

$$\frac{d\alpha}{dt} = A \exp\left(-\frac{\Delta E}{RT}\right) \quad (10)$$

حيث إن A هو عامل التردد ويقاس بـ s<sup>-1</sup> و ΔE هي طاقة التنشيط لتفاعل الضرر الغير قابل للإصلاح وتقاس (J/mol)، المتغيرين الأثنين يعتمدان على نوع الأنسجة، و R ثابت العام للغازات [27, 28] ويتم التعبير عن الجزء المتلف من الأنسجة θ<sub>a</sub> بواسطة

$$\theta_a = 1 - \exp(-\alpha) \quad (11)$$

التيار الكهربائي

المعادلة الحاكمة لواجهة التيارات الكهربائية [16, 17] هم

$$-\nabla \cdot (\sigma \nabla V - J^e) = Q_j \quad (12)$$

(Arm) مصدر التيار (A/M<sup>2</sup>) كثافة التيار المولدة خارجة. (S/m) التوصيل

الكهربائي (v) هو الجهد v حيث صفراً وبالتالي يتم بسيط المعادلة الحاكمة

إلى Q و J لا في هذا النموذج يكون كل من

$$-\nabla \cdot (\sigma \nabla V) = 0$$

الشروط الحدودية عند الحدود الخارجية للأسطوانة هي الأرض (V=0V)

الشروط الحدودية لواجهة التيارات الكهربائية هم

$$V=0 \text{ on the cylinder wall}$$

$$V-V_0 \text{ on the electrode surfaces}$$

$$n \cdot (J_1 - J_2) = 0 \text{ on all other boundaries}$$

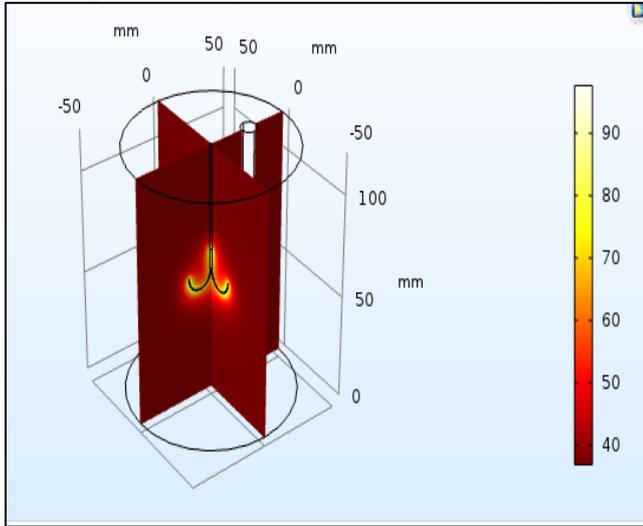
الشروط الحدودية لمعادلة الحرارة الحيوية هم

$$T=T_b \text{ on the cylinder wall and blood-vessel wall}$$

$$n \cdot (k_1 \nabla T_1 - k_2 \nabla T_2) = 0 \text{ on all interior boundaries}$$

### 3. النتائج والمناقشة

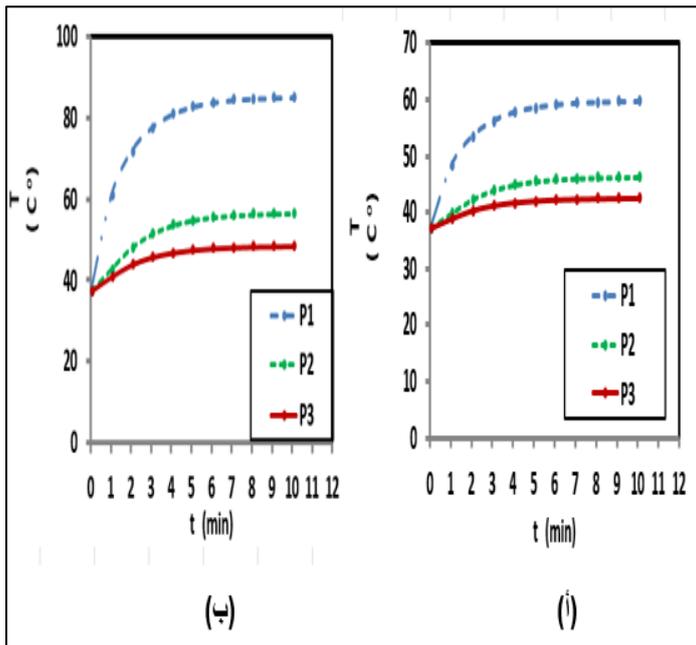
على مدى العقود القليلة الماضية لوحظ استخدام أكثر للمجالات الكهرومغناطيسية في الفروع المختلفة من العلوم والتكنولوجيا، ويمكن التعرف على الاستخدام المفيد للمجالات الكهرومغناطيسية عند الترددات المختلفة في العديد من أنظمة الاتصالات الراديوية، ونقل البيانات اللاسلكية وكذلك بعض الأغراض العلاجية. ومن الأمثلة الممتازة هو العلاج الحراري



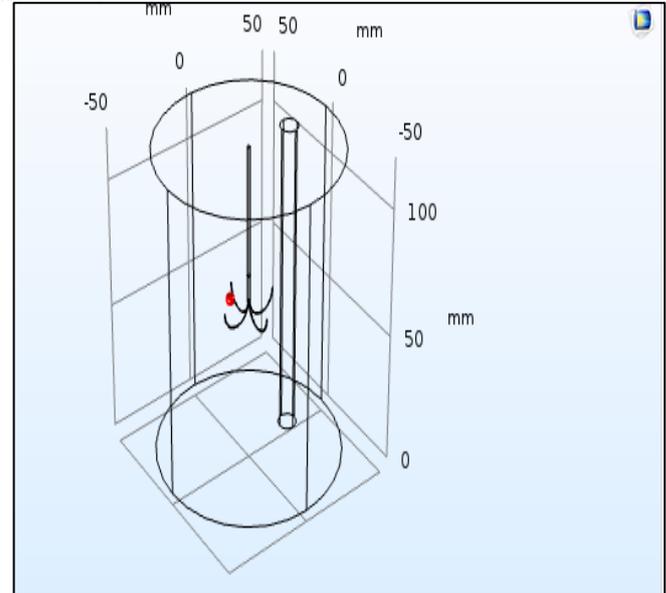
الشكل (7): توزيع درجة الحرارة في ثلاث أبعاد.

يبين الشكل (8) توزيع درجة الحرارة مع الزمن عند الجهد المستخدم بيانياً، ونلاحظ أن عند النقطة الأولى (P<sub>1</sub>) عند استخدام V<sub>1</sub>=20V درجة الحرارة تصل إلى T=59°C خلال الزمن المستخدم عندما كان الزمن t=10min. أما عند V<sub>2</sub> = 30V نلاحظ هناك زيادة في درجة الحرارة عند هذه النقطة وتصل تقريباً T=82°C، أما عند النقطة (P<sub>2</sub>) في حالة استخدام V<sub>1</sub>=20V كانت درجة الحرارة حوالي T=46°C خلال الزمن المستخدم، وعند استخدام الجهد التشغيل V<sub>2</sub> خلال هذه النقطة تصل درجة الحرارة حوالي T=57°C؛ ويُعزى هذا أن ازدياد درجة الحرارة نتيجة زيادة في جهد التشغيل. أما النقطة (P<sub>3</sub>) عند الزمن المستخدم t=10min للجهود المستخدمة كانت درجة الحرارة على التوالي T=42°C و T=48°C نلاحظ أن كلما زاد جهد التشغيل زادت درجة الحرارة في جميع النقاط المستخدمة.

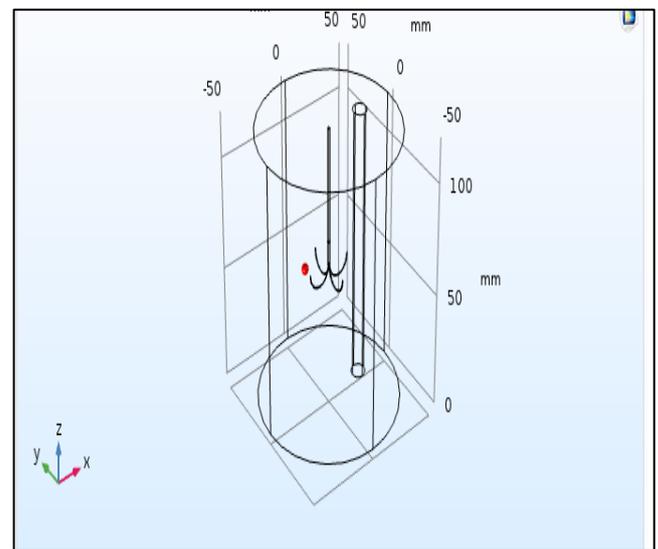
من جانب آخر نلاحظ من الشكل (8) أن النقاط المستخدمة، عند النقطة الأولى كانت درجة الحرارة أعلى من النقاط الأخرى وذلك عند جهود المستخدمة؛ وهذا يعزى إلى مكان النقطة الأولى وهذا المكان على الهوائي الإبرة المستخدم.



الشكل (8): توزيع درجة الحرارة بيانياً مع الزمن.



الشكل (5): يُبين النقطة الثانية للمجال الحسابي لنسيج الكبد.



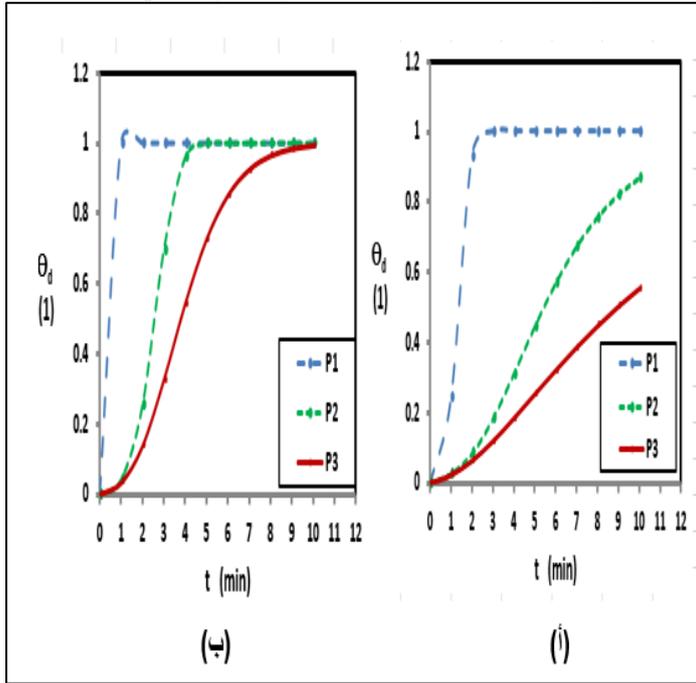
الشكل (6): يُبين النقطة الثالثة للمجال الحسابي لنسيج الكبد.

وفي هذا العمل سنقوم بدراسة تأثير جهد التشغيل على أداء هوائي الإبرة، ذو أربعة أذرع على كلٍ من توزيع درجة الحرارة على خلايا الورم وأيضاً الجزء المتلف من خلايا الورم وذلك عند ذلك عند زمن (t=10min)، وكانت الجهود التي تم اختبارها

$$V_1=20V, V_2=30V$$

#### ● توزيع درجة الحرارة (Temperature distribution)

التوزيع لدرجة الحرارة في ثلاثة أبعاد كما في الشكل (7) عند V<sub>1</sub>=20V، V<sub>2</sub>=30V يوضح أن زيادة الجهد تعمل على زيادة درجة الحرارة خلال النقاط المستخدمة.



الشكل (10): توزيع الجزء المتلف من الخلايا بيانياً (أ) عند  $V_1$  و (ب) عند  $V_2$ .  
• الزمن المستغرق

أجريت هذه الدراسة على اختبار عامل الزمن المستغرق في تسخين الورم وذلك عند الأزمنة (2، 5، 10) دقيقة، وعند الجهد التشغيل ( $V_1 = 20V$ ) وكانت الأزمنة كالتالي:

$$t_1 = 2\text{min} - t_2 = 5\text{min} - t_3 = 10\text{min}$$

والجدول التالي (1) يوضح الزمن المستخدم ونسبة الجزء المتلف من الخلايا السرطانية الموجودة في الكبد عند النقاط الثلاثة المستخدمة.

يوضح الجدول (1) الزمن التسخين مع نسبة الجزء المتلف خلال النقاط المستخدمة.

t(min)	θd		
	P1	P2	P3
2	92%	8.3%	6.3%
5	100%	44%	25%
10	100%	86.5%	55%

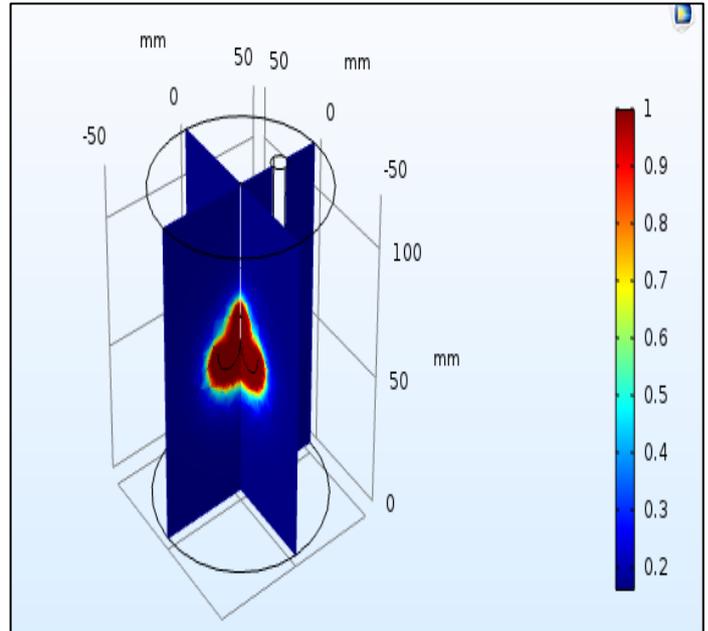
نلاحظ من خلال الجدول بزيادة الزمن تزداد نسبة الإتلاف، فعندما كان الزمن 2min كانت نسبة الإتلاف 92% وبزيادة الزمن خمسة وعشرة دقائق كانت نسبة الإتلاف 100% لأن ذلك بسبب وجود هذه النقطة  $P_1$  على الهوائي وعند النقطة  $P_2$  بزيادة الزمن تزداد نسبة الإتلاف وكذلك عند النقطة  $P_3$ .

#### الاستنتاجات

بُنيت هذه الدراسة على التحليل العددي للانتقال الحراري المرتبط بانتشار الموجات الكهرومغناطيسية في نسيج الورم الكبدي أثناء عملية إتلاف السرطان بالتردد الراديوي، وذلك باستخدام برنامج محاكاة هو (Comsol multiphysics) لدراسة التوزيع السطحي لدرجة الحرارة، والجزء المتلف من الخلايا السرطانية. أوضحت النتائج أن زيادة الجهد تعمل على زيادة درجة الحرارة خلال النقاط المستخدمة كما أوضحت النتائج المتحصل عليها أن تغير جهد وزمن لهما تأثير مباشر وفعال على زيادة درجة الحرارة، وتوزيعها داخل النسيج حيث تبين أن درجة الحرارة ترتفع بزيادة جهد التشغيل. أنّ الجزء المتلف من الخلايا السرطانية يتأثر بالجهد التشغيل المستخدم. عند زيادة

#### • الجزء المتلف من الخلايا (Fraction of necrotic tissue)

يوضح الشكل (9): التوزيع السطحي للجزء المتلف من الخلايا السرطانية عند  $(V_1)=20V$ ، نلاحظ أن الجزء المتلف للخلايا الذي يتميز باللون الأحمر تم اتلافه 100%، ويزداد بزيادة جهد التشغيل ويقل قيمة الجزء المتلف من الخلايا السرطانية تدريجياً كلما ابتعدنا عن الهوائي.



الشكل (9): التوزيع السطحي للجزء المتلف من الخلايا السرطانية عند  $(V_1)$ . في الشكل (10) يوضح الجزء المتلف، نلاحظ اتلاف الخلايا عند استخدام الجهد  $V_1$  كانت النقطة ( $P_1$ ) أكبر جزء متلف من النقاط الأخرى وعند الزمن تقريباً 3min كانت نسبة الاتلاف 100% أما عند استخدام  $V_2=30V$  عند  $P_1$  كانت النسبة 100% عند الزمن 1min، والنقطة الثانية  $P_2$  عند استخدام الجهد  $V_1=20V$  فكانت النسبة 86% عند الزمن 10min بالنسبة لجهد التشغيل  $V_2=30V$  كان الجزء المتلف نسبته 100% عند الزمن 6min؛ وذلك بسبب موقع النقطة الثانية على أحد الأذرع. أما النقطة الثالثة كان نسبة الجزء المتلف لجهود المستخدمة على التوالي 55% عند الزمن 10min و99% عند الزمن 10min.

من جانب آخر أن النقطة الأولى كانت أكبر جزء متلف وذلك بسبب وجود هذه النقطة على الهوائي لجميع الجهود المستخدمة.

[17]-Shrivastava, D. and Vaughan, J.T., "A Generic Bioheat Transfer Thermal Model for a Perfused Tissue", J Biomech Eng. 2009 July, vol 131(7), pp.1-12, (2010).

درجة الحرارة إلى ما يزيد عن 50 درجة مئوية، مما يدمر الخلايا السرطانية. بناءً على النتائج المتحصل عليها من محاكاة النموذج المستخدم في علاج الأورام السرطانية الموجودة بالكبد باستخدام التردد الراديوي فإن التوصيات التي يمكن العمل عليها من خلال هذه الدراسة، باختبار جهود مختلفة المناسبة لعملية إزالة الورم. وأيضاً باختبار الزمن اللازم لإتمام العملية التسخين المناسبة للورم بمعرفة أبعاده؛ لكيلا تُسبب في تدمير الخلايا السليمة المحيطة بالورم.

#### 4. قائمة المراجع

- [1]- National Toxicology Program (NTP). (2018). NTP Technical Report on the Toxicology and Carcinogenesis Studies of Cell Phone Radiofrequency Radiation in Hsd: Sprague Dawley® SD rats (Whole Body Exposure).
- [2]- Johansson, O. (2009). Disturbance of the immune system by electromagnetic fields—A potentially underlying cause for cellular damage and tissue repair reduction which could lead to disease and impairment. *Pathophysiology*, 16(2-3), 157-177.
- [3]- Hardell, L., & Carlberg, M. (2009). Mobile phones, cordless phones and the risk for brain tumours. *International journal of oncology*, 35(1), 5-17.
- [4]- Yakymenko, I., Tsybulin, O., Sidorik, E., Henshel, D., Kyrylenko, O., & Kyrylenko, S. (2016). Oxidative mechanisms of biological activity of low-intensity radiofrequency radiation. *Electromagnetic biology and medicine*, 35(2), 186-202.
- [5]- Belpomme, D., Hardell, L., Belyaev, I., Burgio, E., & Carpenter, D. O. (2018). Thermal and non-thermal health effects of low intensity non-ionizing radiation: An international perspective. *Environmental pollution*, 242, 643-658.
- [6]- Zhang, D. Y., Xu, Z. P., Chiang, H., Lu, D. Q., & Zeng, Q. L. (2006). Effects of GSM 1800 MHz radiofrequency electromagnetic fields on DNA damage in Chinese hamster lung cells. *Chinese medical journal*, 119(16), 1342-1346.
- [7]- McGlynn, K. A., & Tsao, L. (2019). Epidemiology of Hepatocellular Carcinoma. In *Hepatocellular Carcinoma* (pp. 3-27). Academic Press.
- [8]- Chaichanyut, M. and S. Tungjitkusolmun, " RF Ablation Using Four-Tine Antenna: Effects of Blood Flow Velocity, Vessel Location, and Total Displacement on Porous Hepatic Cancer Tissue", *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, pp.1- 14 , <http://dx.doi.org/10.1155/2016/4846738>, (2016).
- [9]- Nishida, N., & Kudo, M. (2013). Oxidative stress and epigenetic instability in human hepatocarcinogenesis. *Digestive Diseases*, 31(5-6), 447-453.
- [10]- Llovet, J. M., Zucman-Rossi, J., Pikarsky, E., Sangro, B., Schwartz, M., Sherman, M., & Gores, G. (2016). Hepatocellular carcinoma. *Nature Reviews Disease Primers*, 2(1), 1-22.
- [11]- T. F. Wood, D. M. Rose, M. Chung, D. P. Allegra, L. J. Foshag, and A. J. Bilchik, "Radiofrequency ablation of 231 unresectable hepatic tumors: indications, limitations, and complications," *Annals of Surgical Oncology*, vol. 7, no. 8, pp. 593–600, 2000.
- [12]- Hendee, W.R. and S.E. , "Physics of Thermal Therapy Fundamentals and Clinical Applications", Edited by Eduardo G. Moros, CRC Press, ISBN: 978-1-4398-0436-0, pp.139-143, (2009).
- [13]- Hazards, I.S.C.C.o.N.-I.R., "IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz", IEEE Std C95.1, 1999 Edition, ISBN 0-7381-1558-4 (1999).
- [14]- John.f, "Transplantation of the Liver E-Book", R.W.B.G.B. Klintmalm, Editor, (2003).
- [15]- HARRYH, P., "Analysis of Tissue and Arterial Blood Temperatures in the Resting Human Forearm", Copyright © 1948 American Physiological Society, vol(1), pp.93-99,(1948).
- [16]- Wessapan.T and Srisawatdhisukul.S, "The effects of dielectric shield on specific absorption rate and heat transfer in the human body exposed to leakage microwave energy", *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol(38), pp.255-262, (2011).