



## تقليل معدل الامتصاص النوعي (Specific Absorption Rate(SAR)) في الدماغ البشري المعرض لإشعاع الهاتف المحمول باستخدام مادة ((CNT)-Ni<sub>0.5</sub>Zn<sub>0.5</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) كدرع واقى

آمنة مسعود الناجم البكوش و محمد مسعود أبو العوينات

قسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة سبها، ليبيا

### الكلمات المفتاحية:

الهاتف المحمول  
الدرع  
دماغ الإنسان  
SAR

### المخلص

تعتبر يصدر الهاتف المحمول طاقة كهرومغناطيسية بترددات الراديو و يتم قياس مقدار هذه الطاقة التي يمتصها رأس الانسان بمعدل الامتصاص النوعي (SAR) حيث يجب أن تكون ضمن الحدود المسموح بها دوليا و الذي يبلغ 1.6w/kg بمتوسط 1 جرام من الأنسجة , و 2w/kg بمتوسط 10 جرام من الأنسجة . تقترح هذه الدراسة التقليل من معدل الامتصاص النوعي (SAR) باستخدام درع من مادة ( سيراميك الفريت المحذر بالأنابيب النانوية الكربونية ((CNT)-Ni<sub>0.5</sub>Zn<sub>0.5</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) بسلك (0.2cm) , بسبب خصائصها الكهربائية و المغناطيسية فهي ذات موصلية و كثافة منخفضة . تمت محاكاة توزيع (SAR) في نموذج ثلاثي الأبعاد لرأس الانسان يتعرض للمجال المشع من الهاتف المحمول الذي يتكون من هوائي الرقعة (Microstrip Patch) عند تردد (1.8GHz) , واستخدام معادلات ماكسويل بشروط حدية مناسبة لإيجاد توزيعات (SAR) في الدماغ , تم حساب الحد الأقصى لمعدل الامتصاص النوعي (SAR) في الدماغ بقيمة (2.47w/kg) بدون استخدام الدرع , و بقيمة (1.22w/kg) عند استخدام مادة الدرع , تم مقارنة نتائج هذا الدرع مع بعض الدروع الأخرى و تبين أن درع (CNT) هو الأفضل الذي خفض من (SAR) في الدماغ.

## Reducing the specific absorption rate (SAR) in human brain exposed to to mobile phone radiation using carbon nanotube

\*Aman Masoud AL Bakoush, Mohammad Al Awaina

Department of Physics, Faculty of Science, University of Sabha, Libya

### Keyword:

Human brain  
Mobile phone  
Shield  
SAR

### ABSTRACT

The mobile phone emits electromagnetic energy at radio frequencies, and the amount of this energy that is absorbed by the human head is measured by the Specific Absorption Rate(SAR) , which must be within internationally permissible limits which are 1.6w/kg with an average of 1g of tissue, and 2w/kg with an average of 10 grams of tissue . This study suggests reducing the specific absorption rate (SAR) by using a shield material (carbon nanotubes(CNT)) with a thickness of (0.2cm) , Because of its electrical and magnetic properties , it has low conductivity and density. The (SAR) distribution was simulated in a 3D model of a human head exposed to the radiated field from a mobile phone formed by a Microstrip Patch antenna at a frequency of 1.8GHz . And using Maxwell's equations with appropriate boundary conditions to find the distributions of specific absorption rate in the brain. The maximum specific absorption rate in the brain was calculated at (2.47w/kg) without using the shield. And a value of (1.22w/kg) when using the shield material. The results of this shield were compared with some other shields and it was found that the CNT shield was the best in reducing SAR in the brain.

### المقدمة

شهدت السنوات الماضية تطورا هائلا في جوانب التكنولوجيا الحديثة مثل الهواتف المحمولة في السنوات الأخيرة فقد أصبحت موضوعا للدراسات , أشارت هذه الدراسات إلى وجود عدة مخاطر صحية محتملة بسبب امتصاص

الهوائيات و روابط الاتصالات و الهواتف المحمولة . نتيجة لزيادة استخدام

\*Corresponding author:

E-mail addresses: [Amn.albakosh@sebhau.edu.ly](mailto:Amn.albakosh@sebhau.edu.ly) ,(M. Al Awaina) [Moh.abulaweenat@sebhau.edu.ly](mailto:Moh.abulaweenat@sebhau.edu.ly)

Article History : Received 19 February 2024 - Received in revised form 08 May 2024 - Accepted 25 May 2024

[20], لذلك تم استخدامها في [21] لتعمل على تقليل معدل الامتصاص النوعي (SAR) في الدماغ عند تعرضه لإشعاع هوائي الهاتف المحمول. تظهر النتائج التجريبية أن  $\text{Ni}_{0.5}\text{Zn}_{0.5}\text{Fe}_2\text{O}_4$ -(CNT) لها الكفاءة والقدرة لتقليل من (SAR) وبالتالي تحد من تأثير الإشعاع الكهرومغناطيسي للهاتف المحمول على دماغ الانسان, دون أن تؤثر على أداء وجودة الهوائي للهاتف المحمول, و بالتالي تتفوق على كثير من المواد التي تم استخدامها سابقا لتقليل (SAR). تم في هذه الدراسة استخدام طريقة إضافة الدروع اللاسلكية (RF) للهاتف المحمول, و في هذه الطريقة يتم وضع الدرع بين الهاتف المحمول و رأس الانسان بحيث يقلل من الإشعاع في الدماغ دون أن يؤثر على أداء وجودة الهوائي للهاتف المحمول, قمنا باستخدام هوائي الرقعة (Microstrip Patch) للهاتف المحمول, و تم استخدام مادة الأنابيب النانوية الكربونية (CNT) لكي تعمل كدرع لتقليل الإشعاع الصادر من الهاتف على الدماغ, و ذلك لأنها تمتلك موصلية وكثافة منخفضة, بالإضافة إلى أنها تحتوي على مادة الفريت التي ثبت أن لها أهمية جدا في تقليل (SAR), جرت المحاكاة في برنامج Comsol Multiphysics 5.5 هي بيئة محاكاة تفاعلية قوية تستخدم لحل جميع أنواع المشكلات العلمية والهندسية ونمذجتها. هو برنامج محاكاة عام لتصميم النماذج والأجهزة والعمليات في جميع مجالات الهندسة والتصنيع والبحث العلمي, بالإضافة إلى استخدام النمذجة متعددة الفيزياء لمشاريعهم, كما يمكن لمستخدمي البرنامج تحويل نماذجهم إلى تطبيقات محاكاة أيضا, لإستخدامها من قبل فرق التصميم الأخرى, و أقسام التصنيع, و مختبرات البحث, و غيرها.

الهدف من هذا البحث هو دراسة التأثيرات للإشعاع الكهرومغناطيسي داخل رأس الانسان, حيث سيتم استخدام شدة المجال الكهربائي المخترق و خصائص نسيج الدماغ للتنبؤ بمعدل الامتصاص النوعي (SAR) وللتحقق من الامتثال لحدود السلامة بدون درع و باستخدام درع (CNT).

## 2. نماذج المحاكاة

### 1.2 نموذج الرأس

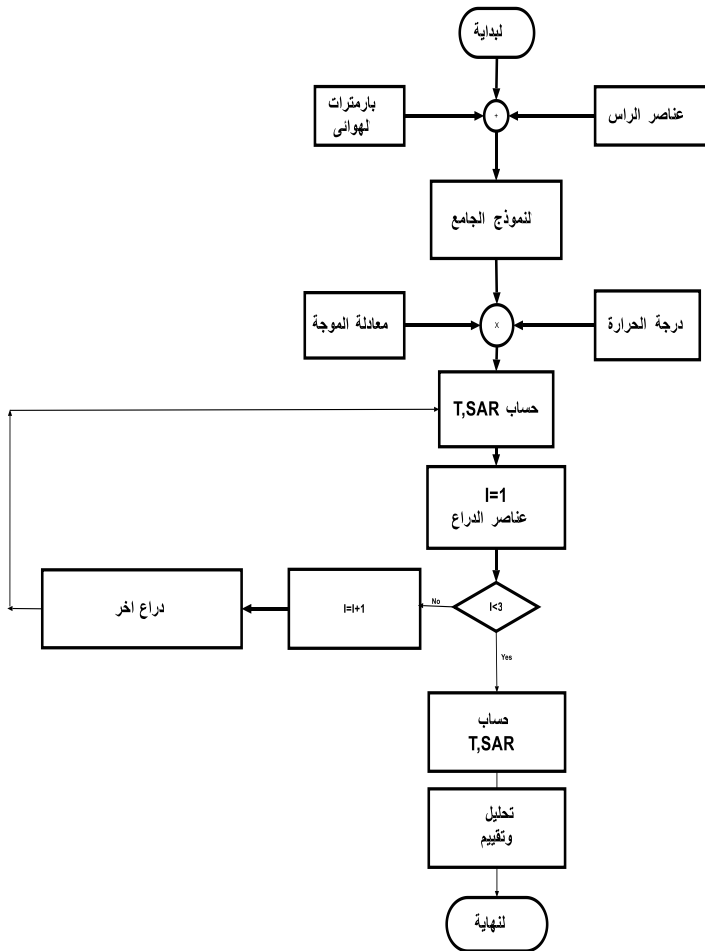
هندسة رأس الإنسان المستخدم هي نفسها هندسة (SAM Phantom) التي تقدمها IEEE و IEC و CENELEC, كما موضح في الشكل (1). هذا الرأس أصبح الآن المعيار العالمي لاختبار الامتثال, تم أخذ أبعاد (SAM) من البيانات الأنتروبومترية للنسبة التسعين المثوية المقابلة لرأس الذكر البالغ [22]. يتم استيراد الهندسة إلى Comsol Multiphysics 5.5 بعد ذلك تعديلات طفيفة و تقليص الحجم إلى 60% من الشكل النهائي الأصلي [23]. تم إنشاء ملف البيانات الهندسي من صورة الرنين المغناطيسي (MRI) تحتوي على رأس الإنسان [1]. قمنا بدراسة تأثير إشعاع هوائي الرقعة للهاتف المحمول على نسيج الدماغ فقط. يمكن اعتبار الأنسجة البيولوجية لرأس الانسان على أنها مواد عازلة للكهرباء تعتمد على التردد و السماحية النسبية. هذه الأنسجة لها خصائص عازلة و حرارية مختلفة. ترد الخصائص العازلة و الخواص الحرارية لنسيج الدماغ في المرجع [21].

إشعاع التردد اللاسلكي المنبعث من الهواتف المحمولة, تم ربط موجات الراديو Radiofrequencies (RF) المنبعثة من هذه الهواتف المحمولة بسرطان الدماغ وأورام الغدد اللعابية و المشاكل السلوكية و الصداع النصفي, و ثبت أن هذه المخاطر أعلى لدى الأشخاص الذين استخدموا الهواتف المحمولة لمدة عشر سنوات على الأقل [1]. تسبب الإشعاعات الصادرة من الهواتف المحمولة تسخين الأعضاء البشرية المعرضة لإشعاعاتها و تحديدا رأس الانسان و قد أوصى مجلس الاتحاد الأوروبي بحد أقصى لمعدل الامتصاص النوعي يبلغ (2w/kg) بمتوسط 10g من أنسجة الرأس.

بشكل عام يوجد العديد من الطرق التي من شأنها تقلل من معدل الامتصاص النوعي (SAR) في دماغ الانسان المعرض لإشعاع الهاتف المحمول منها [2]: العاكسات, هوائيات عالية التوجيه, إضافة درع (RF) للهواتف المحمولة, إضافة شريط معدني صغير, و طريقة التعويض و غيرها.

قدم العديد من الباحثون في [3-15] دراسات لتقليل (SAR) باستخدام طريقة إضافة الدروع اللاسلكية (RF) للهاتف المحمول. في [16], وضع درعا من مادة الفريت على الهاتف المحمول لتقليل من معدل الامتصاص النوعي (SAR) في دماغ الانسان البالغ, و لوحظ تأثير هذا الدرع على كفاءة اشعاع هوائي الهاتف المحمول عند تردد (900MHz). أظهرت النتائج أن ربط درع الفريت للهاتف المحمول لا يؤدي إلى تقليل أداء الهوائي بالإضافة إلى أنه يمتص جزء لا بأس به من إشعاع الهاتف المحمول. في [17], تم تثبيت درع (RF) و مصنوع من مواد مغناطيسية بالسطح الأمامي للهاتف المحمول لتقليل معدل الامتصاص النوعي (SAR) في دماغ الإنسان, يعمل هوائي الهاتف المحمول عند (900MHz) كمصدر للإشعاع. أظهرت النتائج أن الدرع أدى إلى تقليل (SAR) دون أن يحدث تغييرا كبيرا في أداء هوائي الهاتف المحمول. في [18], استخدمت كل من المواد (الألومنيوم, النحاس, الزجاج, البلاستيك, التفلون, الجرمانيوم و الجلد) كدروع وضعت بين الرأس و الهاتف المحمول عند تردد (1.8GHz) لتقليل من معدل الامتصاص النوعي (SAR). تم اختبار هذه المواد بناء على خصائصها الكهربائية و المغناطيسية. أظهرت النتائج أنه لا يمكن استخدام دروع مكونة من الموصلات للحماية من إشعاع الهاتف المحمول لأنها تقلل من أداء الهوائي للهاتف المحمول بسبب الموصلية العالية, ولا يمكن استخدام الدروع المكونة من العوازل لأنها لا تمتص أي إشعاع بسبب الموصلية الصفرية, و تبين أنه يمكن استخدام المواد ذات الموصلية ( $3\text{s/m} - 0.1\text{s/m}$ ) كدروع جيدة للهواتف المحمولة و بناء على ذلك و جدوا أن المادتان التي تندرج تحت هذه الموصلية هما الجرمانيوم و الجلد و عندها ينخفض معدل الامتصاص النوعي (SAR) في الدماغ الإنسان. و في [19], تم تخفيض معدل الامتصاص النوعي (SAR) في الدماغ لنطاق الترددات من (1.200GHz) إلى (2.940GHz) للهاتف المحمول باستخدام مادة فوقية (بنية متعددة الطبقات مربعة الشكل من المواد الاصطناعية Multi-(MSM) layered square-shaped metamaterial). لوحظ أن المادة المقترحة حققت أهداف هذه الدراسة البحثية و يمكن استخدامها في تطبيقات تقليل امتصاص (Electromagnetic Wave (EM).

لسيراميك الفريت (Ni-Zn ferrites) خصائص ممتازة في امتصاص موجات الميكروويف. تقوم مادة الفريت على توصيل التيار المستمر بشكل منخفض جدا مما يجعلها غير مناسبة لتصريف الشحن, فالبتالي يتم دمج حشو) لتشكيل شبكة توصيل) من الأنابيب النانوية الكربونية (CNT) Carbon Nanotubes في المواد الفريتيه, و ذلك لما لها من خصائص كهربائية فائقة



الشكل 3: مخطط المحاكاة.

### 3. النموذج الرياضي المستخدم لامتنصاص اشعاع هوائي الرقعة للهاتف المحمول

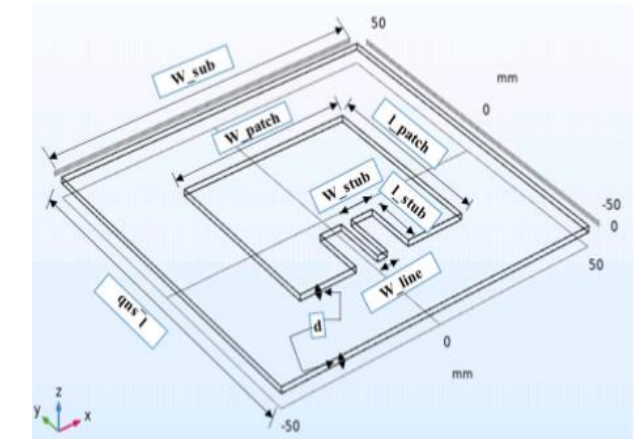
#### المحمول في نسيج الدماغ

تم تطوير النماذج الرياضية للتنبؤ بالمجال الكهربائي و (SAR) فيما يتعلق بتدرجات درجة الحرارة داخل رأس الإنسان , يتم حساب انتشار الموجات الكهرومغناطيسية في رأس الإنسان باستخدام معادلات ماكسويل , تم تبسيط الشكل العام لمعادلات ماكسويل لتوضيح المجال الكهرومغناطيسي المخترق في رأس الإنسان بالمعادلة التالية [1]:

$$\nabla \times \frac{1}{\mu_r} \nabla \times E - K_0^2 \epsilon_r E = 0 \quad (1)$$

حيث E هي شدة المجال الكهربائي (V/m) ,  $\mu_r$  هو النفاذية المغناطيسية النسبية , و  $\epsilon_r$  ثابت عازل النسبي ,  $K_0$  هو رقم موجة الفضاء الحر ( $m^{-1}$ ) .  
حالة حدود انتشار الموجة :

حيث تنبعث الطاقة الكهرومغناطيسية من هوائي التصحيح و تتفاعل مع رأس الإنسان بقوة مشعة معينة , يتم استخدام المنفذ المقطوع لتحديد انخفاض الجهد في هوائي الرقعة (microstrip Patch) , لذلك , يتم وصف حالة الحدود لحل انتشار الموجة الكهرومغناطيسية كما هو موضح في الشكل (4).



الشكل 2: أبعاد هوائي الرقعة (Microstrip Patch) [21].

### 3.2 الدرع

تم استعمال درع من مادة لها القدرة علي تقليل الإشعاعات المنبعثة من الهوائية للهاتف المحمول ناحية الرأس , حيث يكون لهذا الدرع نفس أبعاد الهوائية بطول و عرض (0.0875m) و سمك (0.2cm) توضع مباشرة علي الهوائية . استخدمت مادة سيراميك الفريت المخدر بالأنتايبب النانوية الكربونية (CNT) -  $Ni_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$  .

### 4.2 مخطط المحاكاة

$Q_{\text{met}}$  هو التمثيل الغذائي ( $W/m^3$ )،  $Q_{\text{ext}}$  هو مصطلح مصدر الحرارة الخارجي (كثافة مصدر الحرارة الكهرومغناطيسية) ( $W/m^3$ ). في التحليل، يتم تقريب التوصيل الحراري بين الأنسجة و تدفق الدم بواسطة نضح الدم،

$$\rho_b C_b \omega_b (T_b - T) \quad (8)$$

يساوي مصطلح مصدر الحرارة الخارجي الحرارة المقاومة المولدة بواسطة المجال الكهرومغناطيسي (الطاقة الكهرومغناطيسية الممتصة)، والتي تعرف بأنها:

$$Q_{\text{ext}} = \frac{1}{2} \sigma_{\text{brain}} |E|^2 = \frac{\rho}{2} \cdot \text{SAR} \quad (9)$$

$$\text{حيث } \sigma_{\text{brain}} = 2\pi f \epsilon_r' \epsilon_0$$

يتم النظر في تحليل نقل الحرارة فقط في رأس الإنسان، والذي لا يشمل أجزاء من الفضاء المحيط. كما هو موضح في الشكل (3)، السطح الخارجي لرأس الإنسان المطابق للافتراض يعتبر شرطاً حدودياً معزولاً حرارياً،

$$n \cdot (k \nabla T) = 0 \quad (10)$$

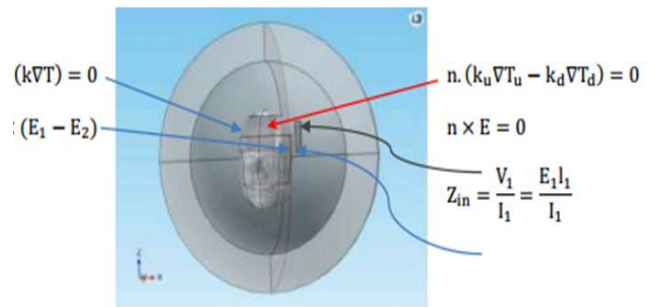
من المفترض أنه لا توجد مقاومة تلامس بين الأعضاء الداخلية لرأس الإنسان. لذلك، يفترض أن تكون الحدود الداخلية شرطاً لحدود الاستمرارية،

$$(11) \quad n \cdot (k_u \nabla T_u - k_d \nabla T_d) = 0$$

#### 4. هندسة المحاكاة

يتم تصميم واختبار هوائي الهاتف المحمول بجهد (18 فولت) للحصول على خصائص جيدة. يبعد هوائي الهاتف المحمول عن مركز الرأس بمسافة (0.0554m). بعد ذلك يتم بناء واختبار النموذج الجامع بين الهوائية والرأس البشري (للبالغين). ومن أجل دراسة خصائصه الإشعاعية بالقرب من رأس الإنسان يتم إضافة الدرع علي الهوائية، بين الرأس و الهاتف المحمول للحصول على أقل معدل امتصاص نوعي في دماغ الانسان دون التأثير علي خصائص الهوائية. تتم مقارنة المعلمات الأساسية، مثل خسارة العودة  $S_{11}(\text{db})$  و مخطط الإشعاع (Radiation Pattern) و نسبة الموجة الدائمة للجهد (Voltage standing wave ratio (VSWR)) للهوائي المقترح في حالة عدم وجود درع بين هوائي الهاتف و الدماغ و في حالة وجود الدرع للمواد المستخدمة. يظهر الشكل (5) نموذج رأس الانسان المعرض لإشعاع هاتف محمول يغذى من هوائي رقعة (Microstrip Patch)، تستخدم طريقة العناصر المحدودة Finite element Method (FEM) عبر برنامج Comsol Multiphysics 5.5 بتحليل و دراسة هذا النموذج. كما يوضح الشكل النموذج النهائي في البرنامج.

$$n \times (\nabla \times E) - jkn \times (E \times n) = -n \times (E_0 \times jk(n-k) \exp(-jk \cdot r))$$



الشكل 4: حالة الحدود لانتشار الموجات الكهرومغناطيسية و نقل الحرارة في الجزء السفلي من هوائي الرقعة.

$$Z_{\text{in}} = \frac{V_1}{I_1} =$$

$$\frac{E_1 L_1}{I_1} \quad (2)$$

حيث  $Z_{\text{in}}$  هو مقاومة الدخل ( $\Omega$ )،  $V_1$  هو الجهد علي طول الحواف ( $V$ )،  $I_1$  هو مقدار التيار الكهربائي ( $A$ )،  $E_1$  هو المجال الكهربائي علي طول حافة المصدر ( $V/m$ )،  $L_1$  هو طول الحافة ( $m$ ).

تعمل رقعة الهوائي تقريبا كتجويف يتم تلخيصه في الموصل الكهربائي المثالي علي الأسطح الداخلية والخارجية، ومن ثم، يتم النظر في حالة حدود الموصل الكهربائي المثالية علي طول الرقعة الموجودة علي الهوائي

$$n \times E = 0 \quad (3)$$

شروط الحدود علي طول الواجهات بين الوسائط المختلفة، علي سبيل المثال، بين الهواء والأنسجة أو الأنسجة و الأنسجة، يعتبر شرطاً لحدود الاستمرارية

$$n \times (E_1 - E_2) = 0 \quad (4)$$

تعتبر الجوانب الخارجية للمجال المحسوب، أي الفضاء الحر، بمثابة حالة حدية تشتت

$$n \times (\nabla \times E) - jkn \times (E \times n) = -n \times (E_0 \times jk(n-k) \exp(-jk \cdot r)) \quad (5)$$

حيث  $K$  رقم الموجة ( $m^{-1}$ )،  $n$  هو ناقل عددي،  $j = \sqrt{-1}$ ، و  $E_0$  الموجة الساقطة ( $V/m$ ).

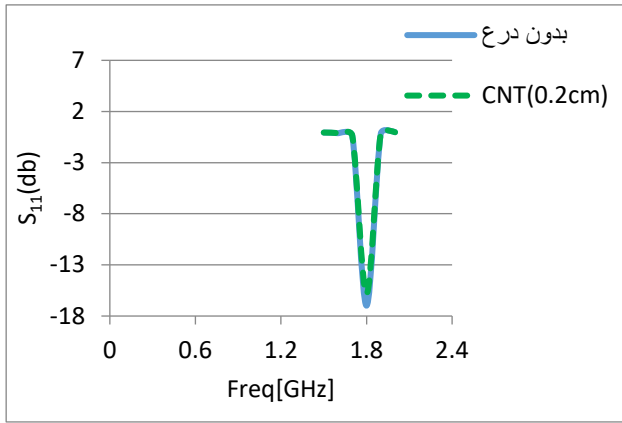
معدل الامتصاص النوعي (SAR) هي طاقة انتشار الموجات الكهرومغناطيسية التي تمتصها الأنسجة و يعرف بأنه معدل تبديد الطاقة المقيس حسب كثافة المادة، و يعطي (SAR) بواسطة [2]:

$$\text{SAR} = \frac{\sigma}{\rho} |E|^2 \quad (6)$$

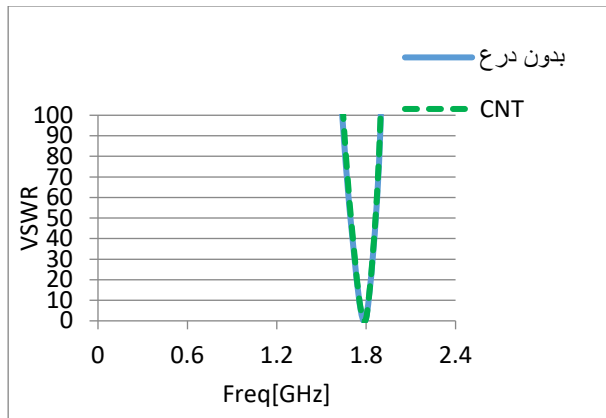
حيث ( $\sigma$ ) هي الموصلية الكهربائية ( $s/m$ )، و ( $\rho$ ) كثافة الأنسجة ( $kg/m^3$ ). يتم الحصول علي توزيع درجة الحرارة داخل رأس الإنسان من خلال حل معادلة Pennes للحرارة الحيوية. تصف معادلة الحرارة الحيوية العابرة بشكل فعال كيفية حدوث انتقال الحرارة داخل رأس الانسان، و يمكن كتابة المعادلة علي النحو التالي [2]:

$$\rho C \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (k \nabla T) + \rho_b C_b \omega_b (T_b - T) + Q_{\text{met}} + Q_{\text{ext}} \quad (7)$$

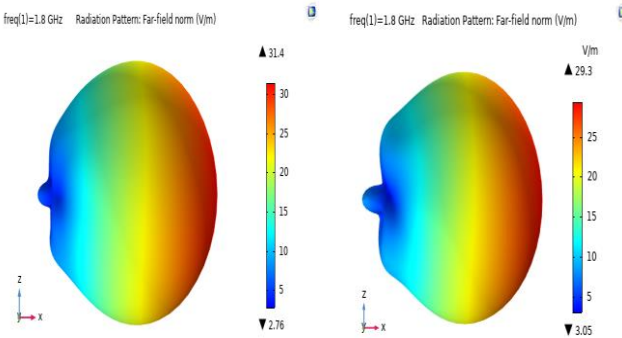
حيث  $\rho$  هي كثافة الأنسجة ( $kg/m^3$ )،  $C$  هي السعة الحرارية للأنسجة ( $J/kgK$ )،  $k$  هي التوصيل الحراري للأنسجة ( $W/mK$ )،  $T$  هي درجة حرارة الأنسجة ( $C^0$ )،  $T_b$  هي درجة حرارة الدم ( $C^0$ )،  $\rho_b$  هي كثافة الدم ( $kg/m^3$ )،  $C_b$  هي السعة الحرارية النوعية للدم ( $J/kgK$ )،  $\omega_b$  معدل نضح الدم ( $1/s$ ).



الشكل 6: خسارة العودية لهوائي الهاتف المحمول بدون درع ومع درع (CNT) بسمك (0.2cm).



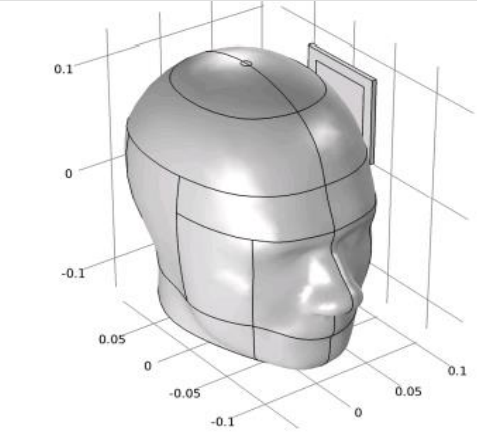
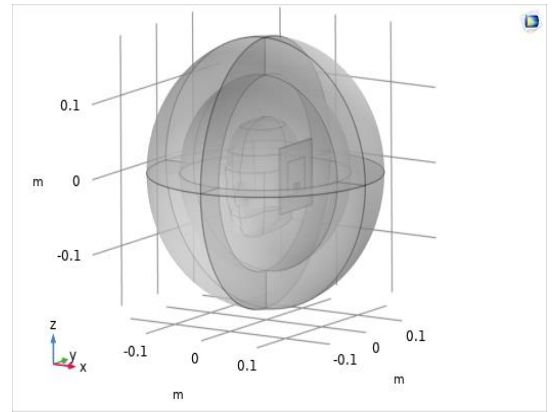
الشكل 7: العلاقة بين (VSWR) و التردد بدون درع ومع درع (CNT) بسمك (0.2cm).



الشكل 8: مخطط النمط الإشعاعي ثلاثي الأبعاد

## 2.5 التأثير على معدل الامتصاص النوعي (SAR) في الدماغ

يبين الشكل (9a) أن أقصى قيمة لمعدل الامتصاص النوعي في حالة عدم وجود درع بين هوائي الهاتف المحمول والرأس والتي بلغت (2.47 w/kg) , و عند استخدام درع الأنابيب الكربونية (CNT) بسمك (0.2cm) بين هوائي الهاتف والرأس انخفضت قيمة (SAR) في الدماغ إلي (1.22 w/kg) كما في الشكل (9b) وهذه قيمة منخفضة جدا مقارنة بالقيم المسجلة في [22] لمواد مختلفة استخدمت لدروع .



الشكل 5: النموذج النهائي للمحاكاة.

## 5. النتائج والمناقشة

يعتبر الهاتف المحمول أحد أهم مصادر الإشعاع الكهرومغناطيسي , حيث أن هذا الإشعاع يؤثر على مختلف أعضاء جسم الانسان و بالأخص علي الدماغ , ولهذا تم في هذه الدراسة استخدام البرنامج الحاسوبي ( Comsol Multiphysics5.5) لتصميم هوائي الهاتف المحمول ليكون مصدر للإشعاع الكهرومغناطيسي عند تردد تشغيل 1.8GHz , و تصميم درع مادي من الأنابيب النانوية الكربونية (CNT) بسمك (0.2cm) لتقليل من معدل الامتصاص النوعي (SAR) في دماغ الإنسان .

### 1.5 التأثير على خصائص الهوائي للهاتف المحمول

تعتبر كل من خسارة العودية  $S_{11}$ (db) و نسبة الموجة الدائمة للجهد (VSWR) والنمط الإشعاعي من أهم المعلمات الرئيسية للهوائي (Microstrip Patch), تم التحقق من أداء الهوائي للهاتف المحمول عند وضعه بجانب رأس الإنسان و التأكد من أنه يشع بطريقة جيدة من خلال النظر لتلك المعاملات في حالة عدم وجود درع , و مقارنتها أثناء وجود درع الأنابيب النانوية الكربونية (CNT) بسمك (0.2cm).

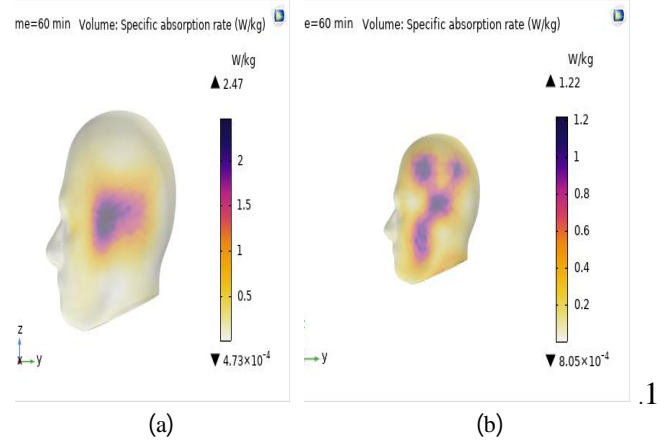
وجد أن درع (CNT) بسمك (0.2cm) له تأثير ضئيل جدا علي كل من خسارة العودية للهوائي  $S_{11}$ (db) كما في الشكل (6), و نسبة الموجة الدائمة للجهد (VSWR) كما في الشكل (7), دون أن تؤثر علي أداء هوائي الهاتف , مقارنة مع حالة عدم وجود درع وهذا أمر جيد . كما لوحظ في الشكل (8b) أن هذا الدرع لم يسبب في تغير أو تشوه في مخطط نمط الإشعاع ثلاثي الأبعاد لهوائي الهاتف المحمول مقارنة مع حالة عدم وجود درع كما في الشكل (8a), و هو أمر جيد و مطلوب .

فقط ، و استخدمت مواد الجرمانيوم و الجلد و الأنابيب النانوية الكربونية (CNT) دروعا لتقليل معدل الامتصاص النوعي ، قورنت النتائج المتحصل عليها مع نتائج المرجع [18] ، و تبين من المقارنة أن الدروع التي استخدمت كانت فعالة في تقليل معدل الامتصاص النوعي (SAR) في الدماغ ولكن أفضلها الدرع المكون من الأنابيب النانوية الكربونية (CNT) التي استخدمت في هذه الدراسة .

## 6. المراجع

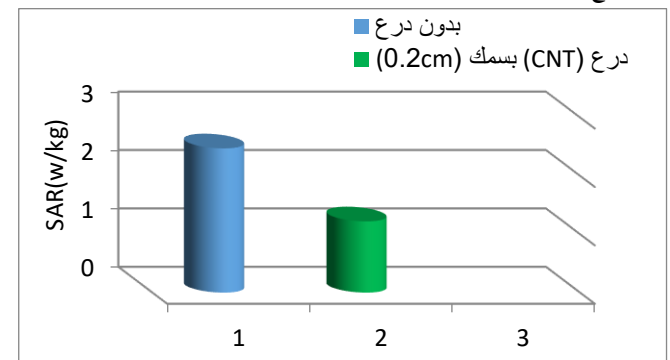
- [1]- Saeid, M., F.M. Ali, and A.E. Mohamed. "Simulation of SAR and temperature distributions in 3 D model of the human head exposed to mobile phone radiation at 900 MHz", 2016.
- [2]- Hediya, A., A.M. Attiya, and W.S. El-Deeb, "Reduction of specific absorption rate: A review article", The Egyptian International Journal of Engineering Sciences and Technology, 2022. 39(3): p. 80-96.
- [3]- Hwang, J.-N. and F.-C. Chen, "Reduction of the peak SAR in the human head with metamaterials", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2006. 54(12): p. 3763-3770.
- [4]- Islam, M.T., M.R.I. Faruque, and N. Misran, "Design analysis of ferrite sheet attachment for SAR reduction in human head", Progress In Electromagnetics Research, 2009. 98: p. 191-205.
- [5]- Faruque, M.R.I., M.T. Islam, and N. Misran, "Analysis of metamaterial attachment for EM absorption in human head", Informacije MIDEM, 2011. 41(2): p. 97-104.
- [6]- Islam, M.T., M.R.I. Faruque, and N. Misran, "Specific absorption rate analysis using metal attachment", Informacije MIDEM, 2010. 40(3): p. 238-240.
- [7]- Abdulrazzaq, S.A. and J.S. Aziz, "SAR simulation in human head exposed to RF signals and safety precautions", Int. J. Comput. Sci. Eng. Technol, 2013. 3(9): p. 334-340.
- [8]- Faruque, M.R.I. and M.T. Islam, "Design of miniaturized double-negative material for specific absorption rate reduction in human head", PloS one, 2014. 9(10): p. e109947.
- [9]- Iqbal-Faruque, M., et al., "Effects of mobile phone radiation onto human head with variation of holding cheek and tilt positions", Journal of applied research and technology, 2014. 12(5): p. 871-876.
- [10]- Miclăuș, S., et al. "Shielding effectiveness of some conductive textiles and their capability to reduce the mobile phones radiation", in International conference KNOWLEDGE-BASED ORGANIZATION. 2016.
- [11]- Alaa, N., W. El-Deeb, and A. Zaghoul, "A Comparative Study of the SAR Reduction Techniques for the Effects of Electromagnetic Waves on Human Head", British Journal of Applied Science & Technology, 2017. 20(2): p. 1-13.
- [12]- Miclăuș, S., et al., "Shielding efficiency of a fabric based on amorphous glass-covered magnetic microwires to radiation emitted by a mobile phone in 2G and 3G communication technologies", Land Forces Academy Review, 2017. 22(4): p. 289-297.
- [13]- Mishra, J.K., et al., "A Microstrip Dipole Patch Antenna Design for SAR Reduction". 2019.
- [14]- Mudigoudra, S., et al. "Reduction effect of electromagnetic radiation emitted from mobile phones on human head using electromagnetic shielding materials", in Journal of Physics: Conference Series. 2020. IOP Publishing.
- [15]- Singla, A., A. Marwaha, and S. Marwaha, "Graphene as a Shielding Material for SAR Reduction in Human Head Using Rectangular and Circular Patch Antenna", Karbala International Journal of Modern Science, 2021. 7(2): p. 8.
- [16]- Wang, J., O. Fujiwara, and T. Takagi. "Effects of ferrite sheet attachment to portable telephone in reducing electromagnetic absorption in human head", in 1999 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility. Symposium Record (Cat. No. 99CH36261). 1999. IEEE.
- [17]- Raha, L.K. and M.S. Bhatia, "Evaluation of SAR Reduction for Mobile Phones Using RF Shields", International Journal of Computer Applications, 2010. 1: p. 81-87.

مما سبق تم تحقيق قدر جيد من التخفيض لمعدل الامتصاص النوعي (SAR) باستخدام الدرع المكون من الأنابيب النانوية الكربونية (CNT) بسمك (0.2cm) ، و عليه يكون درع جيد للحماية من إشعاع الهاتف المحمول لأن له تأثير ضئيل علي أداء و جودة هوائي الهاتف المحمول و يمتص أكبر قدر من إشعاع هوائي الهاتف المحمول بسبب خصائصه الجيدة .



الشكل 9: قيم (SAR) المحسوبة لجزء من الرأس في حالة (a) عدم وجود درع (b) عند وجود درع (CNT) بسمك (0.2cm)

يبين الشكل (10) مقارنة لمعدل الامتصاص النوعي (SAR) في الدماغ في حالة عدم وجود درع مع وجود درع الأنابيب النانوية الكربونية (CNT) بسمك (0.2cm) . نلاحظ من الشكل أن قيمة (SAR) في حالة عدم وجود درع تكون أكبر من قيمة (SAR) في حالة وجود درع (CNT). أي أن هناك انخفاض واضح لقيمة (SAR) في دماغ الإنسان المعرض لإشعاع هوائي الهاتف المحمول ، عند وجود درع (CNT) .



الشكل 10: مقارنة (SAR) في حالة عدم وجود درع و عند وجود درع (CNT) بسمك (0.2cm) .

في المرجع [18] قيست كمية الطاقة التي يمتصها رأس الانسان نتيجة تعرضه لإشعاع هوائي الهاتف المحمول ، و استخدام برنامج المحاكاة ANSYS ( HFSS ) لنمذجة رأس الانسان و تصميم هوائي المستوي المقلوب (PIFA) للهاتف المحمول بتردد تشغيل 1.8GHz ، و جرى حساب معدل الامتصاص النوعي لكل من طبقة الجلد و الدماغ ، و استخدمت مواد الجرمانيوم و الجلد لتكون دروعا فعالة لتقليل من معدل الامتصاص النوعي في دماغ الانسان ، و في هذه الدراسة جرى حساب معدل الامتصاص النوعي و درجة الحرارة في دماغ الانسان باستخدام برنامج المحاكاة ( Comsol Multiphysics5.5 ) لنمذجة رأس الانسان و تصميم هوائي الرقعة المستطيل للهاتف المحمول بتردد تشغيل 1.8GHz ، و حساب معدل الامتصاص النوعي لطبقة الدماغ

- [18]- Dutta, P.K., P.V.Y. Jayasree, and V.S.S.N.S. Baba, " SAR reduction in the modelled human head for the mobile phone using different material shields", Human-centric Computing and Information Sciences, 2016. 6(1): p. 1-22.
- [19]- Ramachandran, T., M.R.I. Faruque, and M.T. Islam, "Specific absorption rate reduction for sub-6 frequency range using polarization dependent metamaterial with high effective medium ratio", Scientific reports, 2022. 12(1): p. 1803.
- [20]- Zhou, X., et al., "Microwave sintering carbon nanotube/NiO. 5ZnO. 5Fe2O4 composites and their electromagnetic performance", Journal of the European Ceramic Society, 2013. 33(11): p. 2119-2126.
- [21]- آمنه مسعود الناجم البكوش , أ.د محمد مسعود أبو العوينات , "تأثير الموجات الكهرومغناطيسية للهاتف المحمول علي دماغ الإنسان و اختبار بعض المواد كدروع لتقليل معدل الامتصاص النوعي", جامعة سبها , كلية العلوم- قسم الفيزياء , (2023).
- [22]- Beard, B.B. and W. Kainz, "Review and standardization of cell phone exposure calculations using the SAM phantom and anatomically correct head models", BioMedical Engineering OnLine, 2004. 3(1): p. 1-10.
- [23]- [www.comsol.com/trademarks](http://www.comsol.com/trademarks) , 15/10/2020, 12:50.
- [24]- منشورات كلية العلوم – جامعة تكريت، منصور جمعة صالح، "هوائي الشريحة الرقيقة"، العراق، 2020.