

معدل الامتصاص النوعي لزرعات التوصيل العظمي للأذن عند التعرض الكهرومغناطيسي

حسان الخلف¹ أ. د. مصطفى الموالي² أ. د. سلام محمود³

¹طالب دكتوراه - قسم الهندسة الطبية - كلية الهمك - جامعة دمشق.

²أستاذ مساعد - قسم الهندسة الطبية - كلية الهمك - جامعة دمشق.

³أستاذ مساعد - قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهمك - جامعة دمشق.

الملخص

ازداد التلوث الكهرومغناطيسي في البيئة حتى أصبح الإنسان محاطاً بسوية عالية من الأمواج الراديوية والمكروية، بسبب الانتشار الواسع لمحطات التغطية لنظم الاتصالات. ظهر نتيجة لذلك ضرورة الأخذ بالحسبان تأثير التعرض الكهرومغناطيسي للمادة الحية وخاصة بوجود الزرعات في مختلف أعضاء الجسم ومنها الأذن للتقليل من أثارها السلبية، ركز هذا البحث على حساب ومقارنة معدل الامتصاص النوعي في النسيج الحية للأذن باستخدام طريقة الفرق المتناهي في المجال الزمني (Finite Difference Time Domain) FDTD من خلال برنامج (Computer Simulation Technology) CST في حالتي وجود زرعة التوصيل العظمي في الأذن وفي حال عدم وجود الزرعة، أظهرت النتائج زيادة معدل الامتصاص النوعي بوجود الزرعة %29.16 عند التردد 0.9 GHz ونسبة %4.9 عند التردد 1.8 GHz، تبين الدراسة ونتيجة ازدياد معدل الامتصاص النوعي بوجود الزرعة إمكانية أن يؤدي ذلك إلى آثار سلبية على الأنسجة الحية حول الزرعة.

الكلمات المفتاحية: زرعات الأذن، الطرائق العددية، التعرض الكهرومغناطيسي، الكهرومغناطيسية

الحيوية , SAR .

تاريخ الإيداع: 2022/4/21

تاريخ القبول: 2022/6/9



حقوق النشر: جامعة دمشق -
سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق
النشر بموجب الترخيص

CC BY-NC-SA 04

The specific absorption rate of bone conduction implants in the ear on electromagnetic exposure

Hassan Alkhalaf¹
Dr. Eng Mustafa Almawaldie²
Dr.Eng Salam Mahmoud³

¹ Phd student the Department of biomedical engineering of FMEE- Damascus University.

²Associated Professor in the Department of biomedical engineering of FMEE- Damascus University.

³Associated Professor in the Department of electrical engineering of FMEE.- Damascus University.

Abstract

Pople has become surrounded by a high level of pollution by radio and microwave waves as a result of the wide spread of coverage stations. Therefore, it was necessary to take the effect of electromagnetic exposure for people, especially the presence of implants in various parts of the body, including the ears, to reduce their negative effects. Therefore, the aim of the research was to calculate and compare the specific absorption rate of bio tissues in ear using the FDTD (Finite Difference Time Domain) method through the CST (Computer Simulation Technology) program in two cases, the first with the presence of a bone conduction implant in the ear and the second in the absence of the implant, the results showed a 29.16% increase in the rate of Specific absorption in the presence of the implant at the frequency of 0.9 GHz and the ratio of 4.9% at the frequency of 1.8 GHz, and therefore this increase can lead to negative effects on tissuearoun implant.

Keywords: ear implants, numerical methods, electromagnetic exposure, bio electromagnetic, SAR.

Received: 21/4/2022

Accepted: 9/6/2022

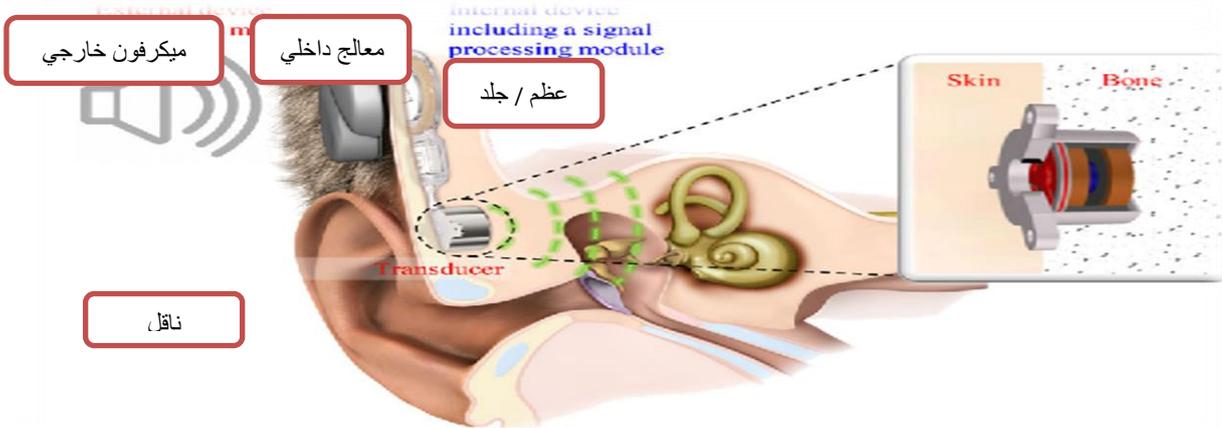


Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

1- المقدمة

السمع، تتم معالجة كافة معلومات الصوت تقريباً بهذه الطريقة التي تُعرف باسم التوصيل الهوائي، مع ذلك تقوم الجمجمة أيضاً بنقل الموجات الصوتية مباشرة إلى القوقعة، ويستفيد من هذه الظاهرة التي تُعرف باسم التوصيل العظمي حيث تستخدم غرسات توصيل الصوت عبر العظم عندما يكون هناك عائق للانتقال الطبيعي للصوت للأذن الداخلية، على سبيل المثال عندما يكون هناك انسداد في الأذن الوسطى، يُنقل الصوت إلى العظم ويقوم العظم بدوره بتوصيل الصوت إلى الأذن الداخلية. في هذه الحالة يتم تخطي مسار الصوت عبر الأذن الخارجية والأذن الوسطى، ويتم تثبيت زرعة التوصيل العظمي في العظم مباشرة تحت الجلد وتعمل على اهتزاز الجمجمة (بين الشكل (1) صورة للزرعة وتوضعها داخل العظم، يتم تضخيم الإشارات الصوتية ووصول المزيد من المعلومات السمعية إلى الحلزون [6,7,10].

يعد مرض نقص السمع من أكثر الأمراض المزمنة شيوعاً حول العالم وقد أظهرت الدراسات وجوده عند نسبة 30-35% من البالغين بأعمارهم من 65 إلى 75 سنة، ذلك يعني أن نسبة 40-50% من البالغين سيعانون من نقص السمع نتيجة تقدمهم بالعمر، يستدعي ذلك اللجوء إلى تعويض النقص بإجراء عمليات زرع غرسات داخل الأذن، أعلنت في هذا الصدد إدارة الغذاء والدواء الأمريكية بإجراء زراعات أذنية لما يقارب من 219000 شخص سنوياً في مختلف أنحاء العالم، بينهم 42600 شخص بالغ و28400 طفل، يعمل الإدراك السمعي بطريقتين عادةً تصل الموجات الصوتية الموجودة في الهواء إلى غشاء الطبلة عبر قناة الأذن، الأمر الذي يجعلها تهتز ثم تقوم العظيمة بنقل هذه الاهتزازات إلى الأذن الداخلية والقوقعة، بالنسبة للأشخاص الذين لا يعانون من فقدان



الشكل (1) زرعة التوصيل العظمي [10]

في العالم، أصبحت محطات الإرسال والتقوية الخاصة منتشرة في كل مكان (على سطوح الأبنية السكنية والمستشفيات والمدارس وغيره) وكان نتيجة هذا الانتشار الواسع أن أصبح الإنسان محاطاً بسوية عالية من التلوث بالأمواج الراديوية والمكروية بشكل خاص، لذلك كان لا بد

وبسبب تتطور وتنامي نظم الاتصالات وتطبيقاتها وانتشارها، أصبح الهاتف النقال (الخلوي) وسيلة اتصال واسعة الانتشار في العالم تلازم الإنسان في كل تنقلاته الخاصة وغير الخاصة لما لها من فوائد عملية هامة ولكي تتحقق التغطية الكافية ويتم تأمين الاتصال من أي بقعة

العظمي عند التردد 13.56 MHz باستخدام برنامج CST حيث أجرى الدراسة على نوعين من أنواع غرسات التوصيل العظمي المنتجة من قبل شركتين (MED-EL, BAHA) وكانت أبعاد الهوائي (35×35 cm) وذلك عند أبعاد متعددة للهوائي عن الرأس وأظهرت النتائج زيادة في معدل الامتصاص النوعي بمقدار مرة ونصف عند الأشخاص مع زرعة توصيل عظمي بالمقارنة مع الأشخاص العاديين [5]. بينما قام بسناكوكفا مع مجموعة من الباحثين عام (2019) بدراسة باستخدام برنامج CST تم فيها دراسة تعرض الأشخاص الذين يتم زرع حلزون لهم أثناء الركوب في القطار عند ترددين (1.8/0.9)GHz ولشخص واحد ولشخصين حيث تمت نمذجة الجسم بطبقتين بسماكة خارجية 2 mm واستخدمت حالتين لبعده الهوائي عن الرأس (17-22) mm وتجاوزت بعض القيم الناتجة المعايير المسموحة من قبل الهيئات الدولية المتخصصة في الإشعاع فبالنسبة لشخص واحد وعند التردد 0.9 GHz ومسافة 17 mm كانت قيمة معدل الامتصاص النوعي 2.386 w/kg ولمسافة 22 mm كانت 3.139 w/kg ولشخصين كانت 3.191 w/kg عند نفس التردد لمسافة 17 mm وأصبحت 2.373 w/kg لمسافة 22 mm بينما كانت القيم عند التردد 1.8 GHz لشخص واحد 1.27 w/kg لمسافة 17 mm و 1.096 w/kg لمسافة 22 mm بينما لشخصين كانت 1.259 w/kg و 1.067 w/kg على الترتيب [12].

وفي عام (2020) أجرى ديلروبا ورفاقه دراسة لتحليل توزيع معدل الامتصاص النوعي الناتج عن التعرض لترددات الجيل الخامس من أبراج الاتصالات ضمن نطاق ترددي أقل من 6 GHz حول الرأس بوجود النظارات عادية للاستخدام اليومي وبعدم وجودها باستخدام برنامج CST وتوصلت الدراسة إلى أن النظارات ساعدت

هنا من الوقوف عند هذا الوضع والأخذ بعين الاعتبار المخاطر المحتملة على الأشخاص الذين يتم تركيب غرسات توصيل عظمي لهم جراء التعرض لهذه الأمواج الكهرومغناطيسية، وتجدر الإشارة إلى أن غالبية الدراسات على الزراعات لم تأخذ بعين الاعتبار العامل الكهرومغناطيسي في تقييم الغرسات الأذنية حيث يرافق عمل هذه الغرسات العديد من المشاكل والظواهر المرضية أهمها تخثر الدم وإمكانية عودة نقص السمع بشكل جزئي، حيث تجري اختبارات عديدة على أداء الزرعة تأخذ عدة عوامل دون البحث في تأثير الحقول الكهرومغناطيسية على هذه التقنية [1].

2-هدف البحث

يتناول هذا البحث دراسة تأثير الحقول والأمواج الكهرومغناطيسية على عمل زراعات التوصيل العظمي الأذنية من خلال معدل الامتصاص النوعي للطاقة في حالتها وجود الزرعة وبغيابها ومقارنة النتائج مع المعايير الكهرومغناطيسية العالمية والحدود المسموح بها واحتمالات تأثير التعرض في بعض الحالات الاستثنائية وآثاره الجانبية التي يمكن أن تعيق عمل الزرعة أو تؤثر على صحة المريض.

3-الدراسات المرجعية

في عام (2015) أجرى الباحث ريتشارد ورفاقه دراسة لتقييم تأثير اتجاه الهوائي على قيم معدل الامتصاص النوعي في نموذج للرأس بوجود زراعات معدنية عند زوايا مختلفة للهوائي المرسل باستخدام الطرائق العددية بواسطة برنامج CST وعند الترددات (0.9/1.8/2.1) GHz توصلت الدراسة إلى أن الزرعة قد ضاعفت معدل الامتصاص النوعي عند الزاوية 145 للتردد 0.9 GHz و 1.8 GHz بينما كان معدل الامتصاص النوعي أقل عند التردد 2.1 GHz عند الزاوية 175 درجة [4].

وفي عام (2019) قام الباحث باتريك مع مجموعة من الباحثين بدراسة تأثير التعرض الكهرومغناطيسي لزراعة التوصيل

حيث:

$$D - \text{كثافة التدفق الكهربائي } (C/m^2)$$

$$E - \text{شدة الحقل الكهربائي } (V/m)$$

$$B - \text{كثافة التدفق المغناطيسي } (T) \quad H - \text{شدة}$$

$$\text{الحقل المغناطيسي } (A/m)$$

$$\sigma - \text{الناقلية الكهربائية } (S/m)$$

$$\epsilon - \text{النفذية الكهربائية } (F/m)$$

$$\mu - \text{النفذية المغناطيسية } (H/m)$$

$$J - \text{كثافة التيار } A/m^2$$

تعتمد طريقة الفرق المتناهي في المجال الزمني على تقطيع الفراغ المدروس وفقاً لخلايا Yee المكعبة واستخدام تقنية قفزة الضفدع، حيث يتم فصل قيم الحقول الكهربائية والمغناطيسية بقفزات في الفراغ والزمن استناداً إلى تقريب الفروقات المركزية وتؤخذ شدة الحقل الكهربائي والمغناطيسي E_x و H_y في بعد واحد تصبح المعادلتين السابقتين بالشكل الآتي [21]:

$$\frac{\partial E_x}{\partial t} = \frac{1}{\epsilon} \left(\frac{\partial H_z}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial z} - \sigma E_x \right) \quad (5)$$

$$\frac{\partial H_y}{\partial t} = \frac{1}{\mu} \left(\frac{\partial E_z}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial z} \right) \quad (6)$$

تمثل هاتين المعادلتين موجة مستوية بمرحلة كهربائية على المحور x ومغناطيسية على Y تنتشر في الاتجاه z، يتضمن مخطط Yee ان كلا من E_x و H_y ينتقلان في الفراغ بنصف خطوة مكانية ونصف خطوة زمانية، وعند الأخذ بعين الاعتبار تقريب الفروقات المتناهية للمشتقات السابقة يمكن التعبير عن المعادلتين السابقتين وذلك بالاعتماد على خوارزمية YEE بالشكل التالي [22,16]:

في تقليل قيم معدل الامتصاص النوعي بشكل ملحوظ وكانت قيم معدل الامتصاص أعلى في الأنسجة قرب الهوائي [13].

4- مواد البحث وطرائقه

يتعذر استخدام تقنيات القياس العملية التقليدية في دراسة تفاعل الحقول الكهرومغناطيسية مع النسيج الحية حيث لا يسمح بإجراء تجارب مباشرة على جسم الإنسان، يتم بدلاً عن ذلك اللجوء إلى النمذجة والمحاكاة المحوسبة بالطرائق العددية لهذا التفاعل التي تسمح بملاحقة تغيرات المعاملات والمحددات المرتبطة بالتفاعل الكهرومغناطيسي الحيوي والزراعة المعدنية في الفراغ والزمن [1].

تم البحث باستخدام طريقة الفرق المتناهي في المجال الزمني FDTD (Finite Difference Time Domain) في البيئة البرمجية الحديثة CST، تعد طريقة الفروقات المتناهية من أكثر الطرائق الشائعة في حل العديد من المسائل الكهرومغناطيسية، فهي طريقة ناجحة في دراسة تبعثر الضوء على سطوح المعادن، وحساب ثابت العازلية الكهربائي، وامتصاص الأمواج الكهرومغناطيسية في الجسم البشري المعرض للإشعاع، ويعود السبب في نجاح هذه الطريقة إلى بساطتها حتى وأن كانت الدراسة تتم وفق ثلاثة محاور. وضع العالم الياباني K.Yee أسس هذه النظرية في القرن الماضي استناداً إلى معادلات ماكسويل الدورانية لتغيرات الحقلين الكهربائي والمغناطيسي في الفراغ والزمن [1,9,16]:

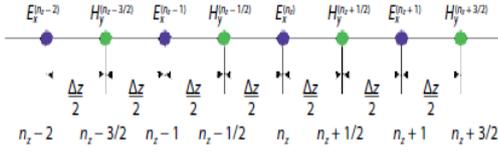
$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t} = -\mu \frac{\partial H}{\partial t} \quad (1)$$

$$\nabla \times H = J + \frac{\partial D}{\partial t} = \sigma E + \epsilon \frac{\partial E}{\partial t} \quad (2)$$

$$\nabla \cdot D = \rho \quad (3)$$

$$\nabla \cdot B = 0 \quad (4)$$

نصف خطوة بالنسبة لبعضهما البعض كما يوضح الشكل (2).



الشكل (2) مخطط قفزة الضفدع [8]

يمكن إعادة كتابة المعادلتين (7) و (8) لحساب قيمة الحقل الكهربائي والمغناطيسي في الخطوة المكانية لتصبحا كما يلي: [16,21]

$$E_x^{n+\frac{1}{2}}(k) - E_x^{n-\frac{1}{2}}(k) = \left(\frac{\Delta t}{\epsilon_0 \Delta z} \right) \left(Hy^n(k - \frac{1}{2}) - Hy^n(k + \frac{1}{2}) \right) \quad (9)$$

$$H_x^{n+1}(k) - H_y^n(k + \frac{1}{2}) = \frac{\Delta t}{\mu_0 \Delta z} (Ex^{n+\frac{1}{2}}(k) - Ex^{n+\frac{1}{2}}(k+1)) \quad (10)$$

لتقادي المشاكل الحسابية الناتجة بسبب السعات المختلفة جدا للحقلين الكهربائي والمغناطيسي يكتب الحقل الكهربائي بالصيغة التالية:

$$\hat{E} = \sqrt{\epsilon_0 / \mu_0} \cdot E \quad (11)$$

بأخذ العلاقة السابقة بعين الاعتبار، إسقاط الرمز (^) تصبح العلاقات:

$$E_x^{n+\frac{1}{2}}(k) = E_x^{n-\frac{1}{2}}(k) + \frac{\Delta t}{\epsilon_0 \Delta z} \left(Hy^n(k - \frac{1}{2}) - Hy^n(k + \frac{1}{2}) \right) \quad (12)$$

المسألة الآن على تعيين مقدار كل من الخطوتين الزمنية، و المكانية، وتحديد شروط الاستقرار في الحلول الناتجة عند اختيار اختيار Δz بحيث تساوي عشر طول موجة على الأقل، وذلك لضمان الحصول على تمثيل كافي، وعندما يتم اختيار حجم الخلية Δz فإنه يمكن اختيار الخطوة الزمنية Δt التي تكون متوافقة مع شرط الاستقرار في الحلول الناتجة، ومن أجل شروط الاستقرار لا تستطيع مركبة الحقل الكهربائي

$$\frac{E^{n+\frac{1}{2}}(k) - E^{n-\frac{1}{2}}(k)}{\Delta t} = \frac{1}{\epsilon_0} \frac{Hy^n(k + \frac{1}{2}) - Hy^n(k - \frac{1}{2})}{\Delta x} \quad (7)$$

$$\frac{Hy^{n+1}(k + \frac{1}{2}) - Hy^n(k + \frac{1}{2})}{\Delta t} = \frac{1}{\mu_0} \frac{E^{n+\frac{1}{2}}(k+1) - E^{n+\frac{1}{2}}(k)}{\Delta t} \quad (8)$$

تبين المعادلة (8) أن مشتقات الحقل الكهربائي في اللحظات تشكل $(n \Delta t)$ تشكل فروقات منتهية للحقل الكهربائي بين اللحظتين $(n + \frac{1}{2}) \Delta t$ و $(n - \frac{1}{2}) \Delta t$ أما الحد الأيمن من المعادلة فيشير إلى أن مشتق الحقل المغناطيسي في النقطة $K \Delta z$ يمكن التعبير عنه باستخدام الفروقات المتناهية بين النقطتين $(k + \frac{1}{2}) \Delta z$ و $(k - \frac{1}{2}) \Delta z$ يظهر الشكل (2) المخطط المعروف بمخطط قفزة الضفدع "leap-frog" لتقريب معادلات مكسويل في الفراغ و الزمن باستخدام الفروقات المنتهية يجب حساب كل من قيم الحقل المغناطيسي و الحقل الكهربائي، ويجب التذكير هنا أن كلا من الحقل الكهربائي والحقل المغناطيسي ينزاحان بالفراغ بمقدار

$$H_x^{n+1}(k) = H_y^n(k + \frac{1}{2}) + \frac{\Delta t}{\mu_0 \Delta z} \left(Ex^{n+\frac{1}{2}}(k) - Ex^{n+\frac{1}{2}}(k+1) \right) \quad (13)$$

تعتبر نصف الخطوة الزمنية ونصف الخلية (cell) أو نصف الخطوة المكانية ضرورية فقط لتذكيرنا بالتعاريف الفيزيائية للحقلين الكهربائي والمغناطيسي، ولتذكيرنا أن كلا من هذين الحقلين يتغير بمقدار نصف خطوة زمنية ونصف خطوة مكانية بالنسبة لبعضهما كما في الشكل (2) تتركز

5-تصميم النموذج

تتطلب دراسة تأثيرات الحقول والأمواج الكهرومغناطيسية على زرات التوصيل العظمي إجراء النمذجة والمحاكاة للمسألة المدروسة، ويجب الأخذ بالحسبان الشكل المدروس وخصائص ومعاملات المادة والبيئة المحيطة وفراغ الحل. تتم عملية النمذجة والمحاكاة باستخدام التقنية المحسوبة FDTD في البيئة البرمجية CST، يتيح ذلك متابعة التفاعلات الكهرومغناطيسية الحيوية بدقة. تجدر الإشارة إلى أن القياسات العملية غير مسموح تطبيقها على الإنسان (المادة الحية) ومن هنا برزت أهمية اختيار التقنية العددية الدراسات بالنمذجة والمحاكاة وأهمية اختيار التقنية العددية المناسبة والبيئة البرمجية. تحتاج الدراسة إلى بناء نموذج يحاكي الواقع العملي قدر الإمكان ومقارنته بالأخذ بالحسبان الشروط الحدية في فضاء حل المسألة لمقارنة الواقع العملي الفعلي [14,19]. يعد مناسباً التأكيد على المهارة في فهم البيئة البرمجية لتصميم رأس الإنسان والزرة العظمية الأذنية وانشاء خلايا شبكة الحل لتحديد الحقول الكهرومغناطيسية FDTD، ثم تحديد الشروط الأولية عند تطبيق موجة كهرومغناطيسية جيبية أو نبضية يتم إيجاد شدتي الحقل الكهربائي والمغناطيسي عند كل تزايد زمني للموجة، يجب أن تكون الخطوة الزمنية (Δt) صغيرة قدر الإمكان لكي تعكس بشكل صحيح زمن تأخير الانتشار بين العقد المختلفة ومن ثم:

$$\Delta r / \Delta t < v \quad \text{حيث أن:}$$

$$\Delta r = (\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2)^{1/2} \quad (16)$$

وتمثل المسافة المكانية بين نقاط الحل v : سرعة انتشار الموجة داخل المادة موضع الاهتمام وتساوي سرعة الضوء في الشروط المثالية. نستنتج أن حساب الحقول يركز على الخطوة الزمنية والتي يجب أن تكون أصغر من أي مدة زمنية ومنها نحصل على شرط استقرارية الحل [22,16]:

الانتشار لأكثر من خلية واحدة خلال خطوة زمنية واحدة أي أن [20]:

$$\Delta t \leq \Delta z / c \quad (14)$$

بما أن c عبارة عن سرعة انتشار الضوء في الخلاء فإن الشرط السابق يؤمن انتشار الضوء في الخلاء وفق بعد واحد، ولكن بشكل عام يمكن إثبات أنه من أجل أكثر من بعد يصبح الشرط السابق بالصيغة التالية:

$$\Delta t \leq \Delta z / c \sqrt{d} \quad (15)$$

حيث $d=1,2,3$ وذلك من أجل بعد أو بعدين أو ثلاثة، يسمى الشرط السابق بشرط Courant (condition) يوضح الشكل (3) المخطط الانسيابي لنمذجة الظواهر الكهرومغناطيسية الحيوية بطريقة FDTD حيث تبدأ الطريقة من خلال وضع المحددات الأساسية للمسألة المدروسة ومن ثم تحديد بداية الخطوة الزمنية $T=0$ وتضمن الشروط الحدية للحقلين الكهربائي والمغناطيسي والتحقق من شروط الحقل عند كل قيمة محسوبة [1,9].



الشكل (3) المخطط التدفقي لطريقة FDTD [8]

$$SAR = \frac{\sigma E^2}{\rho} \quad (18)$$

حيث SAR (Specific absorption RATIO) - معدل الامتصاص النوعي W/Kg و σ - الناقلية النوعية $(\frac{S}{m})$ و ρ - هي الكثافة الحجمية للنسج (Kg/m^3) - E شدة الحقل الكهربائي داخل (V/m)، وتسمى الكمية $(\sigma.E^2/\rho)$ بمعدل الطاقة النوعية الممتصة ويختلف SAR من نقطة إلى أخرى داخل الجسم بحسب طبيعة العضو المدروس يبين الجدول (1) الخصائص الكهرومغناطيسية المختلفة للنسج الحية ضمن الجسم عند الترددات $(1.8/0.9)GHz$ ، تتعلق التفاعلات الكهرومغناطيسية مع المادة الحية بخصائص الوسط حيث تبين العلاقة (18) أن SAR متناسب طردياً مع الناقلية النوعية للنسج،. يمكن أن يؤثر التردد على معدل الامتصاص النوعي عند تغيرات مقاومة الوسط بسبب الأثر القشري، عندما يؤثر حقل كهربائي بنفس القيمة وترددين مختلفين فالقوة الممتصة أعلى عند التردد الأعلى. من ناحية أخرى فإن إشارات الترددات العالية تتخامد بسرعة أكبر منها للترددات المنخفضة وبشكل عام ينخفض الحقل بدرجة كبيرة في المادة الحية عند الترددات العالية [15,18].

الجدول (1) الخصائص الكهرومغناطيسية للنسج الحية [11]

Fr	Tissue النسيج	Eps ثابت العازلية الكهربائي	Rho [kg/m3]
0.9 GHz	الدم	61.36	1060
	العظم	20.788	1990
	الشحم	5.462	910
	الجلد	41.405	1100
1.8GHz	الدم	59.37226	1000
	العظم	11.78074	1850
	الشحم	5.349368	1100
	الجلد	38.87186	1100

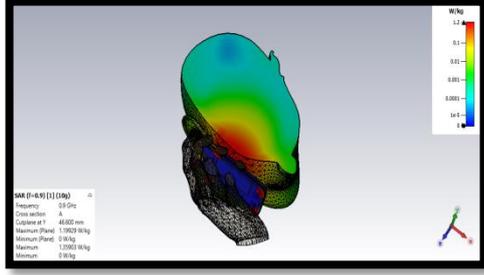
يضم الجدول (1) قيم الترددات للأمواج والحقول المطبقة، وطبقات النسج الحية وخصائص نفاذيتها المغناطيسية النسبية حيث يتحقق $(\mu r = 1)$ ذلك لجميع المواد في الحياة ما عدا المواد المغناطيسية، وقيم

$$V_{max, \Delta t} \leq [1/\Delta x^2 + 1/\Delta y^2 + 1/\Delta z^2]^{-1/2} \quad (17)$$

أجريت النمذجة والمحاكاة استناداً إلى ما سبق ببناء نموذج لرأس الإنسان، يتمثل كافة مكوناته من الجلد وطبقة الشحوم والدم والعضلات والعظم والدماغ، مع الأخذ بالحسبان الخصائص الكهربائية والمغناطيسية لكل منها. أخذت الدقة $(1 \times 1 \times 1) mm^3$ وأضيف كذلك نموذج الزرعة التوصيل العظمي الأذنية ضمن العظم. تم تعريض النموذج للحقول الكهرومغناطيسية لمنبع الهاتف النقال المتولدة من أبراج الاتصالات الخلوية ذات الترددات $(0.9)GHz$ - (1.8) توجد هذه الأمواج في البيئة المحيطة بنا ويستخدم الجميع الهاتف النقال يومياً في النشاطات المختلفة ولفترات زمنية متكررة.

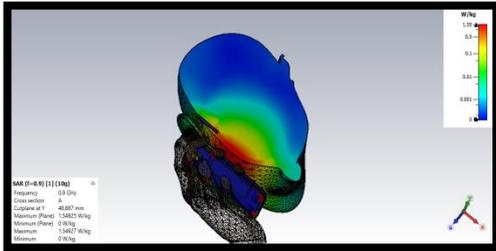
تتم مراقبة الأمواج والحقول الكهرومغناطيسية ومتابعتها داخل نموذج رأس الإنسان الطبيعي بدون الزرعة كحالة أولى، وكذلك في نموذج الرأس مع وجود الزرعة المعدنية داخل العظم وتحديد تأثيرها على تفاعل الحقول والأمواج الكهرومغناطيسية للاتصالات الخلوية مع المادة الحية، ليتم إجراء المقارنة مع القيم المرجعية المسموح بها ومقارنة الحالتين المدروستين عند الترددات المشار إليها آنفاً.

تم تطبيق شروط الامتصاص الحدية باستخدام طبقة التوافق التام والتي تمنع تراكم الحقول الكهرومغناطيسية المنعكسة من الجدران على الحقول الواردة، إضافة إلى حماية النظام من تأثيرات الحقول الكهرومغناطيسية الخارجية للوصول إلى النتائج المناسبة والحقيقية كما لو أن المنبع يؤثر في مجال مفتوح، يعد التردد عامل أساسي في تفاعل الحقول الكهرومغناطيسية مع المادة الحية وخصائص الوسط، حيث يتناقص الحقل داخل الجسم مع زيادة التردد وفقاً لظاهرة الأثر القشري. يشكل معدل الامتصاص النوعي SAR (Specific absorption RATIO) عاملاً هاماً في تقييم التفاعل الكهرومغناطيسي الحيوي ويعطى بمراعاة كتلة الجسم من خلال العلاقة [15,16,19] :



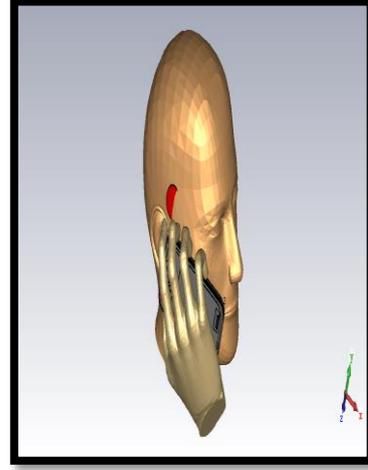
الشكل (7) SAR عند التردد 0.9 بدون زرعة

تم إعادة تطبيق نفس الموجة عند نفس الشروط على نموذج الرأس مع وجود زرعة توصيل عظمي ويوضح الشكل (8) توزيع معدل الامتصاص النوعي لنفس المنطقة عند التعرض لنفس الموجة الكهرومغناطيسية (بمطالها وترددها) لكن مع وجود زرعة التوصيل العظمي المزروعة داخل العظم في منطقة الأذن، يلاحظ من الشكل (8) أن الطاقة الكهرومغناطيسية تتوزع بكثافة متفاوتة لكنها أعظمية في منطقة الزرعة حيث بلغت قيمة معدل الامتصاص النوعي 1.55 w/kg أي بنسبة زيادة 29.16% مقارنة مع غياب الزرعة المعدنية.



الشكل (8) SAR عند التردد 0.9 GHz مع زرعة

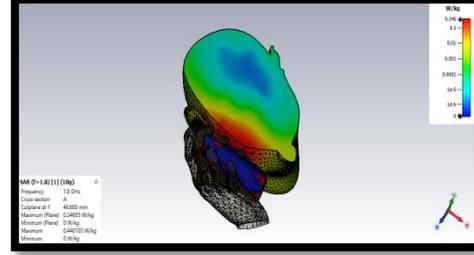
يوضح الشكل (9) توزيع معدل الامتصاص النوعي ضمن طبقات الرأس بغياب الزرعة المعدنية عند التردد 1.8 GHz ويتضح من الشكل (9) أن أعلى قيمة لمعدل الامتصاص كانت 0.346 W/Kg وتتناقص قيمته تدريجياً مع العمق، بينما يظهر الشكل (10) توزيع معدل الامتصاص النوعي لنفس المنبع ونفس الشروط لكن بوجود زرعة توصيل عظمي ويلاحظ من الشكل (10) أن قيمة معدل الامتصاص النوعي ازدادت بشكل ملحوظ عند نفس



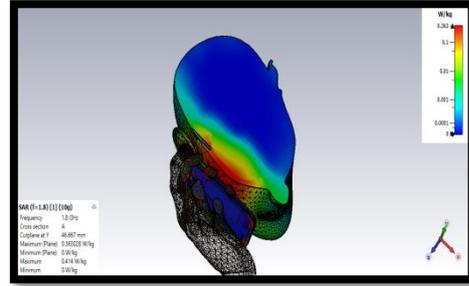
الشكل (6) نموذج الرأس مع زرعة التوصيل العظمي الأذنية بينما يبين الشكل (5) شبكة الحل الفراغية عند منطقة الأذن وزرعة التوصيل العظمي موضع الاهتمام، حيث تم بناء الشبكة وفق للمعطيات السابقة واعتماداً على شرط استقرارية الحل في المعادلة (17)، ويظهر في الشكل (6) النموذج المصمم للرأس ويتألف من طبقات عدة بدءاً من طبقة الجلد ثم العظم وقد تمت تصميم زرعة توصيل عظمي داخل العظم في الجمجمة وفقاً لأبعادها الهندسية، تم استخدام طبقة معدنية لتغليفها مع اليد، يظهر الهاتف الجوال أثناء إجراء المكالمات حيث يتم تاسخدام ترددتين للجوال تنتشر من خلال الأبراج وهما $(0,9/1,8 \text{ GHz})$.

يتبين من الشكل (7) توزيع معدل الامتصاص النوعي وفقاً لتقنية التمييز اللوني في نموذج الرأس بدون زرعة التوصيل العظمي عند التردد 0.9 GHz ، يتضح من الشكل (7) أن كثافة الطاقة الكهرومغناطيسية أعظمية في جهة الرأس المقابلة لسقوط الموجة الكهرومغناطيسية ويكون توزيعها شبه منتظم خاصة في منطقة الأذن المقابلة للجهاز حيث بلغت أعلى قيمة لمعدل الامتصاص النوعي عند الأذن 1.2 W/Kg

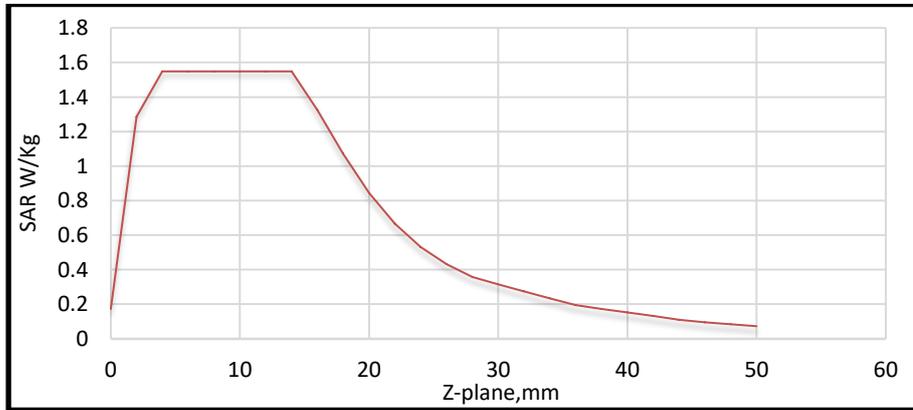
تردد المنبع وأصبحت 0.363 W/Kg على سطح الزرعة المعدنية أي بنسبة زيادة 4.9% وبالتالي فإن وجود الزرعة المعدنية أدى إلى هذه الزيادة.



الشكل (9) SAR عند التردد 1.8 GHz بدون زرعة



الشكل (10) SAR عند التردد 1.8 GHz مع زرعة

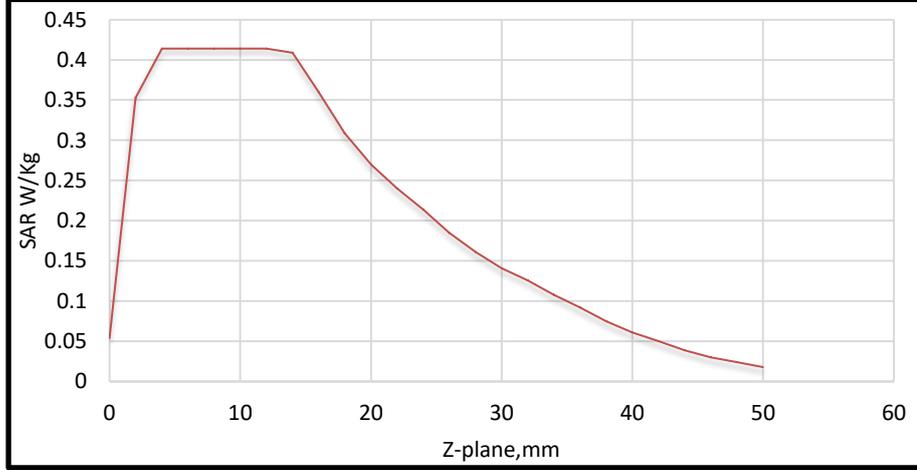


الشكل (11) SAR مع المسافة على المحور z عند التردد 0.9 GHz

يوضح الشكل (11) تغير معدل الامتصاص النوعي مع المسافة خلال المحور Z الذي هو من جهة سقوط الموجة باتجاه الرأس مباشرة عند التردد 0.9 GHz حيث يلاحظ من الشكل (11) أن قيمة معدل الامتصاص النوعي تكون شبه معدومة في المسافة قبل الزرعة ثم تبدأ بالتزايد كلما اقتربنا من الزرعة حتى تبلغ أعلى قيمة لها عند الوصول إلى الزرعة وهي 1.55 W/Kg وتبقى محافظة على هذه القيمة مسافة 10 mm تقريباً ومن ثم تتناقص بالتدرج حتى تنعدم والجدير بالذكر أن الزرعة تقع في المجال $(8-16) \text{ mm}$ من المحور Z

النوعي تكون شبه معدومة في المسافة قبل الزرعة ثم تبدأ بالتزايد كلما اقتربنا من الزرعة حتى تبلغ أعلى قيمة لها عند الوصول إلى الزرعة وهي 0.363 W/Kg وتبقى محافظة على هذه القيمة مسافة 11 mm تقريباً ومن ثم تتناقص بالتدرج

يوضح الشكل (12) تغير معدل الامتصاص النوعي مع المسافة خلال المحور Z الذي هو من جهة سقوط الموجة باتجاه الرأس مباشرة عند التردد 1.8 GHz حيث يلاحظ من الشكل (12) أن قيمة معدل الامتصاص



الشكل (12) SAR مع المسافة على المحور z عند التردد 1.8 GHz

الضعف [12]، بينما في دراستنا الحالية كانت قيم معدل الامتصاص ضمن الحدود المسموحة في الحالتين بوجود الزرعة وغيابها لكن بوجود الزرعة زادت قيم معدل الامتصاص النوعي بنسبة ملحوظة عند التردد 0.9 GHz وبنسبة زيادة أقل منه عند التردد 1.8 GHz يعزى ذلك إلى بعد الجوال عن الزرعة واختلاف الشروط الابتدائية لكل دراسة وقل عمق الاختراق داخل الأنسجة مع زيادة التردد بالإضافة إلى اختلاف شكل وتوضع الزرعة .

6- الاستنتاجات والتوصيات

• تبين نتائج الدراسة وجود زيادة في قيمة معدل الامتصاص النوعي عند التردد 0.9 GHz داخل نموذج الرأس المدروس للأشخاص الذين يتم تركيب زراعات توصيل عظمي لهم بنسبة 29.16 % ونسبة 4.9 % عند التردد 1.8 GHz لكن هذه القيمة تبقى ضمن الحدود المسموح بها وفق المعايير العالمية للتعرض الكهرومغناطيسي ولكن يمكن أن تقود هذه الزيادة إلى تأثيرات متفاوتة ستعكس على فعالية وجودة عمل زرعة التوصيل العظمي.

يمكن تلخيص النتائج السابقة في الجدول (3) الذي يوضح قيم معدل الامتصاص النوعي عند كل تردد مختار في حالتي وجود زرعة التوصيل العظمي وغيابها.

الجدول (3) نتائج معدل الامتصاص النوعي ونسبة الزيادة

بوجود زرعة التوصيل العظمي

التردد	SAR غيب الزرعة (W/Kg)	SAR وجود الزرعة (W/Kg)	نسبة الزيادة %
0.9 GHz	1.2	1.55	29.16
1.8 GHz	0.346	0.363	4.9

بمقارنة النتائج مع الدراسة المرجعية الأولى [4] نجد أنها ركزت على الحلزون المزروع في الأذن وأن قيم معدل الامتصاص النوعي قد تضاعفت عند زوايا ورود مختلفة للموجة الكهرومغناطيسية بعضها كان أكبر من القيم المسموح بها، بينما في الدراسة المرجعية الثانية [5] نجد أن زرعة التوصيل العظمي قد ضاعفت معدل الامتصاص النوعي بمقدار مرة ونصف عن الحالة الطبيعية وهذه القيمة تجاوزت الحدود المسموح بها في بعض المناطق لأنواع معينة من الزراعات، أما الدراسة المرجعية الثالثة تجاوزت قيم معدل الامتصاص النوعي الحدود المسموحة بمقدار

وانتشارها في المادة والانعكاسات الداخلية التي تقود إلى الرنين الحيوي مما ينعكس على الأداء الفيزيولوجي وخاصة الجهاز المعلوماتي العصبي.

• يشكل هذا البحث مساهمة في مجال دراسة التفاعلات الكهرومغناطيسية مع المادة الحية والتي تعتبر آلياتها مجالاً للأبحاث العلمية وتأثير العامل الكهرومغناطيسي على تصميم وأداء الزرعات في مختلف أعضاء الجسم بمختلف أنواعها.

• تقدم تقنية حسابات الجرعة الكهرومغناطيسية الحيوية مساهمة علمية لتحديد تأثير العامل الكهرومغناطيسي على تصميم الزرعات عموماً وخطوة مهمة في مجال تطوير الأجهزة الكهرومغناطيسية الحيوية بما فيها الأجهزة الطبية.

• يستنتج استناداً إلى ما سبق أن الطيف الكهرومغناطيسي الساقط على جسم الإنسان عموماً يتفاعل بصورة متفاوتة تبعاً للأبعاد الهندسية التي تحدد تجاوبه مع بعض ترددات الطيف إضافة إلى تأثير خصائص المادة الحية على درجة امتصاص طاقة الموجة الكهرومغناطيسية وتبديدها حرارياً

References

1. Inan, U. S., & Marshall, R. A. (2011). Numerical electromagnetics: the FDTD method. Cambridge University Press.
2. TAFLOVE A., BRODWIN M.E., "Numerical solution of steady-state electromagnetic scattering problems using the time –dependent Maxwell's equations " IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol.,MTT-23, 1975,623-630.
3. Code, S. (2015). 6, Limits of human exposure to radiofrequency electromagnetic fields in the frequency range from 3 kHz to 300 GHz. Health Canada.
4. Mat, M. H., Abd Malek, M. F., Whittow, W. G., & Bibb, R. (2015). Ear prosthesis evaluation: specific absorption rate levels in the head due to different angles and frequencies of electromagnetic exposure. Journal of Electromagnetic Waves and Applications, 29(4), 514-524.
5. Zradziński, P., Karpowicz, J., & Gryz, K. (2019). Electromagnetic Energy Absorption in a Head Approaching a Radiofrequency Identification (RFID) Reader Operating at 13.56 MHz in Users of Hearing Implants Versus Non-Users. Sensors, 19(17), 3724.
6. Flood, L. M. (2016). Essentials of Audiology, 4th edn. SA Gelfand. Thieme, 2016. ISBN 978 1 60406 8610 pp 536. The Journal of Laryngology & Otolaryngology, 130(8), 787-787.
7. <https://www.medel.com/hearingsolutions /bonebridge> (24/04/2022).
8. Xu, B., Wu, Q., Dong, L., & Wei, Y. (2019). Selection of DBO measurement wavelength for bottom mark asymmetry based on FDTD method. Journal of Semiconductors, 40(12), 122403.
9. Scheneider, J. B.(2020)"Understanding the Finite-Difference Time-Domain Method"John B. Scheneider. Scholl of electrical engineering and computer science Washington State University.
10. Lee, S. H., Seong, K. W., Lee, K. Y., & Shin, D. H. (2020). Optimization and performance evaluation of a transducer for bone conduction implants. IEEE Access, 8, 100448-100457.
11. Stanković, V., Jovanović, D., Krstić, D., & Cvetković, N. (2015, May). Electric field distribution and SAR in human head from mobile phones. In 2015 9th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE) (pp. 392-397). IEEE.
12. Mydlová, J., Beňová, M., Stefancova, V., & Pitlova, E. (2019). Assessment of SAR in human body model with the cochlear implant inside a railway vehicle. Transportation Research Procedia, 40, 1489-1496.

13. Geyikoğlu, M. D., Polat, H. K., Kaburcuk, F., & Çavuşoğlu, B. (2020). SAR analysis of tri-band antennas for a 5G eyewear device. *International Journal of Microwave and Wireless Technologies*, 12(8), 754-761.
14. [https://www.3ds.com/products/services/simulia/products/cst-studio-suite\(24/04/2022\)](https://www.3ds.com/products/services/simulia/products/cst-studio-suite(24/04/2022))
15. Furse, C., Christensen, D. A., Durney, C. H., & Nagel, J. (2018). *Basic introduction to bioelectromagnetics*. CRC press.
16. Hao, Y., & Mittra, R. (2008). *FDTD modeling of metamaterials: Theory and applications*. Artech house.
17. You, P., Siegel, L. H., Kassam, Z., Hebb, M., Parnes, L., Ladak, H. M., & Agrawal, S. K. (2019). The middle fossa approach with self-drilling screws: a novel technique for BONEBRIDGE implantation. *Journal of Otolaryngology-Head & Neck Surgery*, 48(1), 1-10.
18. Thotahewa, K. M., Redouté, J. M., & Yuce, M. R. (2013). SAR, SA, and temperature variation in the human head caused by IR-UWB implants operating at 4 GHz. *IEEE transactions on microwave theory and techniques*, 61(5), 2161-2169.
19. Kumari, V., Sheoran, G., & Kanumuri, T. (2020). SAR analysis of directive antenna on anatomically real breast phantoms for microwave holography. *Microwave and Optical Technology Letters*, 62(1), 466-473.
20. Kaburcuk, F., & Elsherbeni, A. Z. (2021). Efficient Electromagnetic Analysis of a Dispersive Head Model Due to Smart Glasses Embedded Antennas at Wi-Fi and 5G Frequencies. *The Applied Computational Electromagnetics Society Journal (ACES)*, 159-167.
21. Choroszucho, A. (2016). Analysis of the influence of the complex structure of clay hollow bricks on the values of electric field intensity by using the FDTD method. *Archives of Electrical Engineering*, 65(4).