

تقييم التعرض الكهرومغناطيسي لزرعات جذع الدماغ السمعي باستخدام الطرق العددية

م. حسان الخلف⁽¹⁾

د. مصطفى الموالي⁽²⁾ د. سلام محمود⁽³⁾

المُلخَص

تعد دراسة تقييم التعرض للحقول والأمواج الكهرومغناطيسية على الإنسان موضوعاً حيوياً هاماً وخاصة بوجود الزرعات في مختلف أعضاء الجسم ومنها الرأس للتقليل من آثارها السلبية لذلك كان الهدف من البحث حساب ومقارنة معدل الامتصاص النوعي للنسج الحية للرأس عند الإنسان باستخدام طريقة الفرق المتناهي في المجال الزمني (Finite Difference Time Domain) FDTD من خلال برنامج CST (Computer Simulation Technology) في حالتين الأولى بوجود زرعة جذع الدماغ السمعي في الأذن والثانية في حال عدم وجود الزرعة، أظهرت النتائج نسبة زيادة 12.5% في معدل الامتصاص النوعي بوجود الزرعة عند التردد 0.9GHz ونسبة 3% عند التردد 1.8 GHz وبالتالي يمكن أن تؤدي هذه الزيادة إلى آثار سلبية على عمل جذع الدماغ السمعي.

كلمات مفتاحية: جذع الدماغ، CST، الطرق العددية، FDTD، الكهرومغناطيسية الحاسوبية، معدل الامتصاص النوعي

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

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

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

Assessment of exposure to electromagnetic fields for auditory brainstem implants using numerical methods

Hassan Alkhalaf⁽¹⁾
Moustafa Almawaldi⁽²⁾ Salam Mahmoud⁽³⁾

Abstract

The study of evaluating the exposure to fields and electromagnetic waves on human is an important topic, especially with the presence of implants in various parts of the body, including the head, to reduce their negative effects. Therefore the aim of the research was to calculate and compare the specific absorption rate of bio tissues of the human head using the method of infinite difference in time domain FDTD (Finite Difference Time Domain) by CST (Computer Simulation Technology) program in two cases, the first one with the auditory brainstem implant in the ear and the second in the absence of the implant, the results showed a increase 12.5% in the SAR(Specific Absorption Rate) in the presence of the implant at the frequency of 0.9GHz and 3% at The frequency of 1.8 GHz, and therefore this increase can lead to negative effects on the functioning of the auditory brainstem.

Keywords: brainstem , CST, Numerical Modeling , FDTD, computerized electromagnetic , SAR

⁽¹⁾PhD student in biomedical engineering of FMEE- Damascus University.

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

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

1-المقدمة

يوفر زرع جذع الدماغ السمعي للأشخاص الذين يعانون فقدان السمع ولا يمكنهم الاستفادة من سماعات الأذن أو عملية الزرع القوقعي، يحدث ذلك غالباً في حالة فقدان العصب السمعي تماماً أو ضعفه أو وجود تشوه شديد بالأذن الداخلية (قوقعة الأذن). يعمل زرع جذع الدماغ السمعي على تنبيه المسارات السمعية مباشرة في جذع الدماغ متجاوزاً الأذن الداخلية والعصب السمعي. تم تطوير الجراحة بالأساس للبالغين الذين تم تشخيصهم بالنوع 2 من الورم العصبي الليفي هي حالة وراثية نادرة تتسبب في نمو الأورام على الأعصاب. يُنظر في إجراء هذه الجراحة الآن للبالغين والأطفال المصابين بتشوهات الأعصاب والأذن الداخلية الأخرى. تهدف الجراحة إلى استعادة السمع في الأشخاص المصابين بفقدان السمع. يمكن أن تكون الغرسة السمعية بجذع المخ نهجاً بديلاً للأشخاص الذين لا يمكن أن يخضعوا لزراعة قوقعة الأذن. قوقعة الأذن المزروعة هي جهاز إلكتروني يتجاوز الأجزاء التالفة أو غير العاملة في الأذن الداخلية (قوقعة) وينبه عصب السمع (العصب السمعي) مباشرة. توفر زراعة قوقعة الأذن بصفة عامة جودة صوت أفضل، ولكن لا يمكن استخدامها في كل الحالات.

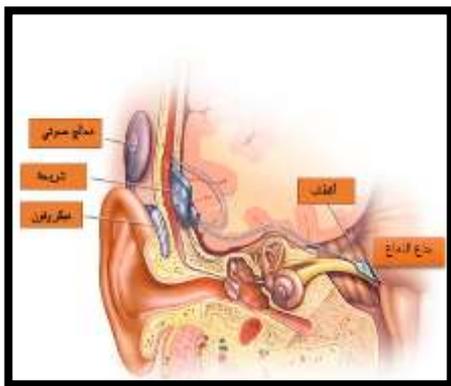
الحالات التي لا يمكن للمريض الخضوع لزراعة قوقعة الأذن هي:

- عصب سمعي صغير أو غير موجود
- أذن داخلية ذات شكل غير معتاد
- تندب الأذن الداخلية بسبب العدوى، مثل التهاب السحايا
- تلف ناجم عن كسر الجمجمة

تتجاوز الغرسة السمعية بجذع المخ الأعصاب السمعية التالفة، وتتصل بجذع المخ مباشرة، لمساعدة المريض على اكتشاف الأصوات.

ترافق الغرسات السمعية في جذع المخ بعض المضاعفات النادر حدوثها مثل التهاب السحايا، وتسرب سوائل الدماغ والعمود الفقري، وضعف العصب الوجهي، وألم ودوار وغيره، يحتاج الشخص الأصم بعد عملية الزرع إلى مجموعة جلسات تعليمية متخصصة لضبط معالج الصوت الخارجي وتعليم المريض تقنية استخدام وتفسير الإشارات وعادة تستغرق هذه العملية عدة أشهر [6,7,18]. يوضح الشكل (1) جهاز جذع الدماغ المزروع وتوضعه داخل الرأس حيث تشمل غرسات جذع الدماغ السمعي ثلاثة أجزاء رئيسية:

- ميكروفون ومعالج صوتي يوضع خلف الأذن لالتقاط الأصوات (microphone-sound processor)
- شريحة فك تشفير تُوضع أسفل الجلد لإرسال المعلومات الملتقطة عبر الميكروفون (decoding chip)
- أقطاب كهربائية تُوصَل مباشرة إلى جذع الدماغ، تنبهك عند إثارتها إلى وجود صوت (electrode)



الشكل (1) جذع الدماغ السمعي وتوضعه داخل الرأس

[17]

الدراسات المرجعية

أجريت دراسات عديدة في مجال التعرض الكهرومغناطيسي للزرعات الأذن البشرية حيث قام ماروس وزملاؤه عام (2019) بدراسة لمعرفة تأثير الحقول الكهرومغناطيسية على الحلزونات المزروعة وذلك من خلال معدل الامتصاص النوعي حيث تم استخدام تردد (1.8/0.9) GHz باستطاعة (1/2)W على التوالي باستخدام برنامج ال CST، تم بناء نموذج يحاكي رأس الإنسان وتمت المقارنة بين عدة حالات الأولى بوجود اليد البشرية والثانية بغيابها على مرحلتين بوجود الحلزونات المزروعة وبدون وجوده حيث توصلت النتائج إلى وجود بعض التجاوزات في بعض الحالات لمعدل الامتصاص النوعي والجدول (1) يوضح النتائج التي تم التوصل إليها [1].

الجدول (1) قيم معدل الامتصاص عند التردد

[1] (0.9/1.8 GHz)

الجزء	اليد	كامال القيمة العظمى النموذج	SAR [W·kg ⁻¹]
0.12	---	3.21	900 MHz بدون يد
0.13	6.68	2.20	900 MHz مع يد
0.23	---	0.9	1800 MHz بدون يد
0.16	4.66	0.67	1800 MHz مع يد

أجرى الباحث بارازيني وزملاؤه دراسة عام (2009) حيث تم بناء نموذج للرأس البشري من صور جهاز الرنين المغناطيسي ونموذج الحلزونات من صور الطبقي المحوري وأجريت الدراسة على حالتين استقطاب (أفقي/عمودي) عند ثلاث ترددات (1950/1750/900) MHz تمت المحاكاة باستخدام برنامج CST في حالتين الأولى بوجود الحلزونات والثانية بعدم وجوده وأظهرت النتائج اختلاف طفيف في النتائج بين الحالتين وتركيز للحقول حول الحلزونات المزروعة. [2].

تابعت الباحثة زوزانا عام (2019) مع مجموعة من الباحثين الدراسة باستخدام برنامج ال CST لتعرض الأشخاص مع زرع حلزونات للحقول الكهرومغناطيسية تم فيها

دراسة تعرض الأشخاص الذين يتم زرع حلزونات لهم أثناء الركوب في القطار عند تردد (1.8/0.9) GHz لراكبي القطارات، تم تمثيل جسم الإنسان بطبقتين حيويتين بسماكة خارجية 2 mm مع حالتين لبعدها الهوائي عن الرأس، الأولى 17 mm والثانية 22 mm وتجاوزت بعض القيم الناتجة المعايير المسموحة من قبل الهيئات الدولية المتخصصة في الإشعاع، يوضح الجدول (3) النتائج التي تم التوصل إليها [4].

الجدول (2) SAR عند مسافتين لبعدها الهوائي عند

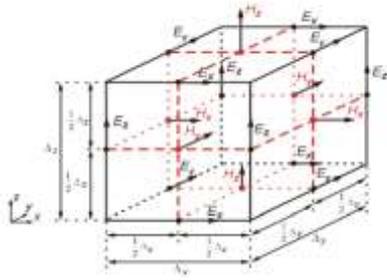
التعرض لشخص وشخصين [4]

عدد الأشخاص	التردد	المسافة مم	القيمة
شخص واحد	0.9 GHz	17	3.139 W/Kg
		22	2.386 W/Kg
	1.8 GHz	17	1.2704 W/Kg
		22	1.096 W/Kg
شخصين	0.9 GHz	17	3.191 W/Kg
		22	2.373 W/Kg
	1.8 GHz	17	1.2518 W/Kg
		22	1.067 W/Kg

وفي عام (2015) أجرى الباحث ريتشارد ورفاقه دراسة لتقييم تأثير اتجاه الهوائي على قيم معدل الامتصاص النوعي في نموذج للرأس بوجود زرع معدنية عند زوايا مختلفة للهوائي المرسل باستخدام الطرق 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 و 1.8 بينما كان معدل الامتصاص النوعي أقل عند التردد 2.1 عند الزاوية 175 درجة [3].

2-هدف البحث

يهدف البحث إلى تقييم تعرض زرع جذع الدماغ السمعي للحقول والأمواج الكهرومغناطيسية ومقارنة النتائج مع مستويات الجرعات الكهرومغناطيسية العالمية المسموح بها وبالتالي تسليط الضوء على آثار هذا التعرض والتي يمكن



الشكل (2) خلية YEE الفراغية [9]

قدمت هذه البيئة البرمجية للمهندسين خياراً أمثلاً لمتابعة التغيرات في شبكة الحل على مستوى التغيرات الصغيرة في العنصر بأبعاد دقيقة التي يمكن أن يكون لها تأثير كبير على ضبط كفاءة النظام، يتعدّر تغيير النموذج الحقيقي عملياً، وخاصة عندما تشارك متغيرات متعددة في بناءه وتكون التفاعلات فيما بينها معقدة، حيث يستحيل إيجاد القيم المثلى في كثير من الأحيان من الناحية التحليلية.

نظراً لتعدّر استخدام تقنيات القياس العملية التقليدية في دراسة تفاعل الحقول الكهرومغناطيسية مع النسيج الحية المحيطة بالشبكة المزروعة تطلب ذلك استخدام النمذجة والمحاكاة المحوسبة بالطرائق العددية لهذا التفاعل التي تسمح بملاحقة تغيرات المعاملات والمحددات المرتبطة بالتفاعل الكهرومغناطيسي الحيوي والشبكة المعدنية المزروعة في الفراغ والزمن [9,10].

تم البحث باستخدام طريقة الفرق المتناهي في المجال الزمني (Finite Difference Time Domain) في البيئة البرمجية الحديثة CST .

يبين الشكل (2) خلية YEE الفراغية التي تعتبر أساس طريقة الفرق المتناهي في المجال الزمني، تقوم هذه الطريقة على تقسيم الحيز الفراغي وفق هذه التقنية إلى خلايا دقيقة مكعبة الشكل بأبعاد $(\Delta x, \Delta y, \Delta z)$ بحيث تكون شدة الحقل على كل ضلع من الأوجه ثابتة وعمودية

أن تؤدي في بعض الحالات الاستثنائية إلى ظواهر مرضية جانبية تعيق عمل زرعة جذع الدماغ السمعي أو تؤثر على المريض ومن ثم التوعية حول التعرض الكهرومغناطيسي الموجود بشكل دائم في حياتنا اليومية.

3- مواد البحث وطرائقه

البيئة البرمجية CST

تعتمد دراسة التفاعلات الكهرومغناطيسية الحيوية على التقنيات العددية في بيئات برمجية مناسبة، تشكل الحقول الكهرومغناطيسية وشداتها مع معدل الامتصاص النوعي بمجموعها محددات هذا التفاعل الكهرومغناطيسي الحيوي استناداً إلى طريقة FDTD والتي أصبحت قادرة على المعالجة الفعلية لكل النماذج موضع الاهتمام في الكهرومغناطيسية الحيوية، حيث أنه من المعلوم أن إجراء القياسات المباشرة على الجسم البشري أمر متعذر بشكل عام، لذلك لا بد من اللجوء إلى المحاكاة لنتمكن من ذلك، تمتاز النمذجة والمحاكاة بطريقة FDTD في البيئة البرمجية CST بفعالية عالية في خلق الحركة الواقعية وكيفية تغلغل الحقول وتفاعلها مع الأجسام الحيوية، أي ملاحقة التغيرات في الفراغ والزمن واقعياً. تعتبر البيئة البرمجية CST الأداة التخصصية للمحاكاة ثلاثية الأبعاد للحقول الكهرومغناطيسية بتردداتها المختلفة مما جعلها تحتل المرتبة الأولى عالمياً للقيام بالمحاكاة الحاسوبية. قدم توماس ويلاند في عام 1992 نواة هذه البيئة البرمجية، واستمر البحث والعمل على تطوير تقنياته وخوارزمياته لتأمين حل معادلات ماكسويل بشكل سريع.

- درجة الدقة والتمييز العاليتين وإمكاناتها في تصغير أبعاد الخلية الرياضية إلى قيم مكروية.
- متعددة الاستعمالات وتلائم دراسة الأجسام بأبعاد هندسية دقيقة أو كبيرة وبمستويات تعقيد مختلفة.
- السهولة النسبية في استنتاج المقاربات الرياضية واعتمادها على الخوارزمية الحسابية مقارنةً مع التقنيات الأخرى.

- تسمح بالمتابعة الحية للمتغيرات في الفراغ الثلاثي والزمن وتعدّ هذه الصفة ميزة خاصة لطريقة FDTD كما يمكن استخدامها في التطبيقات الطبية ودراسة التوافق الكهرومغناطيسي الحيوي [10,9].

يختلف تفاعل الحقول الكهرومغناطيسية مع المادة الحية تبعاً للتردد المستخدم وخصائصها الحيوية، تتطلب دراسة آلية التأثير المتبادل بين الحقول الكهرومغناطيسية والجسم التمييز بين مختلف أجزاء الجسم وبنائها وخصائصها وتقدر عادة وفقاً للمعايير العالمية بواسطة معدل الامتصاص النوعي **Specific Absorption Rate (SAR)** وتعرف بأنها كمية الطاقة التي تمتصها المادة الحية في وحدة الحجم خلال الثانية عند التعرض للحقول الكهرومغناطيسية ولا يمكن قياسها على البشر في الحالة الحية، ولكن تقاس في التجارب العملية، وتعطى بمراعاة كتلة الجسم المعرض بالعلاقة التالية:

$$SAR = \sigma E^2 / \rho \quad (5)$$

حيث σ - هي الناقلية النوعية و ρ - هي الكثافة الحجمية و E - شدة الحقل الكهربائي داخل نسيج الجسم المدروس، وتسمى الكمية $(\sigma E^2 / \rho)$ بمعدل الطاقة النوعية الممتصة **Energy Absorption Specific Rate** وتقدر بالواط على الكيلوغرام $[W/Kg]$ ويرمز لها **SAR** وتختلف من نقطة إلى أخرى داخل الجسم بحسب طبيعة العضو المدروس يبين الجدول الخصائص

على الحقل المغناطيسي الملازم له وفقاً لماكسويل، يتم إدخال التبعية الزمنية لمركبات الموجة الكهرومغناطيسية بمساعدة خوارزمية Yee، والتي أصبحت أساساً علمياً لإيجاد الحلول التقريبية، تعتمد هذه الخوارزمية على معادلات ماكسويل والتي تؤكد على أن المعدل الزمني لأي من مركبتي الحقل الكهرومغناطيسي تحرّض المركبة الأخرى [9,10].

تعتمد طريقة FDTD على الحلول التقريبية لمعادلات ماكسويل في المجال الزمني:

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

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

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

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

حيث:

- D كثافة التدفق الكهربائي (C/m^2) .
- E شدة الحقل الكهربائي (V/m) .
- B كثافة التدفق المغناطيسي (T) .
- H شدة الحقل المغناطيسي (A/m) .
- σ الناقلية الكهربائية (S/m) .
- ϵ النفاذية الكهربائية (F/m) .
- μ النفاذية المغناطيسية (H/m) .

- تمتاز طريقة FDTD بالعديد من الإيجابيات أهمها: المرونة العالية في محاكاة المسائل الهندسية الكهرومغناطيسية بما فيها دراسة ظاهرة التفاعل مع المواد من أي نوع كانت سواءً الجامدة أو الحية.
- ملائمتها في دراسة التفاعل الكهرومغناطيسي عند الترددات المنخفضة والعالية.
- يمكن بسهولة الحصول على درجة عالية لاستقرارية الحل وذلك بتصغير أبعاد الخلية.

4-النتائج والمناقشة:

انطلاقاً مما سبق تم بناء نموذج للرأس قريب من الواقع العملي بحيث يحقق الشروط الأولية والحدية لتفاعل الأمواج الكهرومغناطيسية في فراغ الحل وتم متابعة تأثيرات الحقول الكهرومغناطيسية على رأس الإنسان بوجود زرعة جذع الدماغ السمعي بنمذجة معادلات ماكسويل والخصائص الحيوية لرأس الإنسان بمراعاة وجود الزرعة باستخدام تقنية الفروق المتناهية في المجال الزمني في البيئة البرمجية CST، يحتاج تنفيذ ذلك إلى بناء نموذج لرأس الإنسان ومنبع الموجة الكهرومغناطيسية في حيز فراغي وتحديد الشروط الأولية والحدية، لذلك تم تصميم منبع الحقول الكهرومغناطيسية الذي هو عبارة عن جوال يحوي هوائي يبث الطاقة الكهرومغناطيسية عند طولي موجة (0.9/1.8 GHz) يبعد مسافة 5mm من الرأس وكانت باستطاعة (W/1/2) وصممت زرعة جذع الدماغ السمعي بأبعادها الطبيعية وكافة مكوناته بدءاً من الميكروفون وصولاً إلى الأقطاب الكهربائية المزروعة داخل جذع الدماغ وزرعه داخل نموذج الرأس، وتجدر الإشارة إلى أن عملية التصميم تحتاج إلى الدقة في محاكاة الرأس والزرعة وكذلك الأمواج الكهرومغناطيسية يتحقق ذلك في البيئة البرمجية CST بتطبيق شروط الامتصاص الحدية باستخدام طبقة التوافق التام PML والتي تمنع تداخل الكهرومغناطيسي في فراغ الحل ليشابه البيئة الفعلية، وحماية النظام من تأثيرات الحقول الكهرومغناطيسية الخارجية كأن المنبع يؤثر في مجال مفتوح مشابه للحالة الحقيقية. تحتاج عملية النمذجة والمحاكاة إلى تشكيل شبكة حل مناسبة للوصول إلى الدقة المطلوبة والتي تم تحقيقها بعدد 1904000 خلية لشبكة الحل، تجدر الإشارة إلى أنه كلما ازداد عدد الخلايا كلما احتجنا إلى مواصفات أكبر للحواسيب المستخدمة عالية جداً للبنية

الكهرومغناطيسية المختلفة للنسج الحية ضمن الجسم عند الترددات (1.8/0.9)GHz [12].

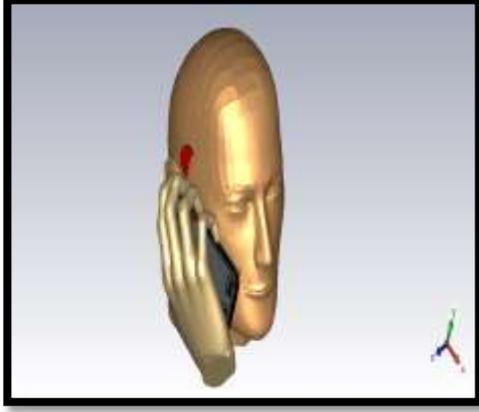
تعود صعوبات دراسة تفاعل الحقول الكهرومغناطيسية مع المادة الحية أو تداخلها معها إلى عوامل تتعلق بالحقول الكهرومغناطيسية بحد ذاتها مثل طيفها الترددي واستقطابية موجتها ونمطها وزاوية ورودها. ويؤثر أيضاً في التفاعلات عوامل أخرى تتعلق بالمادة الحية بحد ذاتها وتركيبها المعقد وخصائصها الكهربائية والمغناطيسية من ناقلية نوعية σ ونفاذية كهربائية ϵ ونفاذية مغناطيسية μ والخاصية الحيوية أو ما تمتاز به المادة من عمليات حيوية وانعكاس التأثير الكهرومغناطيسي عليها وعمر الإنسان والأبعاد الهندسية له ووضعها الصحي، وفترة التعرض وتكراره والعوامل البيئية المحيطة (رطوبة، درجة الحرارة، درجة التلوث وغيرها)، يوضح الجدول (4) خصائص العزل الكهربائية للأنسجة البشرية (جلد، عضلات، شحوم، عظام، أنسجة الدماغ...) عند التعرض للحقول الكهرومغناطيسية عند ترددات مختلفة [5].

الجدول (4) الخصائص الكهرومغناطيسية للأنسجة الحيوية [13]

الطبقة	900 MHz		1800 MHz	
	النفاذية الكهربائية (ϵ_r)	النفاذية المغناطيسية (σ S/m)	النفاذية الكهربائية (ϵ_r)	النفاذية المغناطيسية (σ S/m)
جلد	43.8	0.86	43.9	1.23
شحوم	11.3	0.11	11.0	0.19
عضلات	55.9	0.97	54.4	1.38
عظم	20.8	0.34	15.6	0.43
نسيج دماغ	44.4	0.96	42.9	1.32
سوائل	68.6	2.41	67.2	2.92
دماغ	45.8	0.77	43.5	1.15

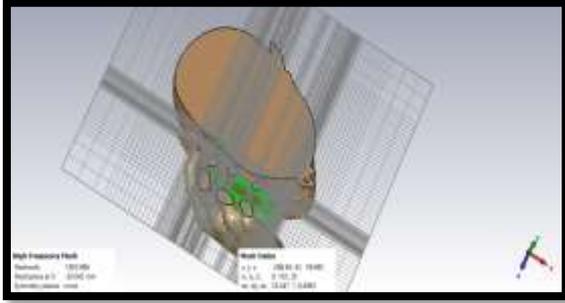
لأجراء البحث تم انشاء نموذج لرأس الإنسان يأخذ بالحسبان الخصائص الفيزيائية والكهرومغناطيسية للنسج الحية وتوضعها، أشارت الدراسات أن ثابت العازلية والنفاذية المغناطيسية والناقلية الكهربائية تختلف تبعاً لنوعية النسج كما هو مبين في الجدول (4).

تتوضع أقطابها الكهربائية داخل جذع الدماغ، كما يظهر الشكل (3) نموذج الهاتف النقال أثناء المكالمة.



الشكل (3) نموذج رأس الإنسان مع جذع الدماغ

تتسأ شبكة الحل الفراغية لحساب معدل الامتصاص النوعي في الطبقات المختلفة وتحقق الشبكة استقرارية الحل كما يبين الشكل (4).



الشكل (4) خطوط شبكة الحل في منطقة الزرعة

الحاسوبية المستخدمة لأن عملية تشغيل النموذج تستهلك كامل مساحة الذاكر لذلك كان لابد من الموازنة بين عدد خلايا الشبكة و استطاعة البنى الحاسوبية المستخدمة للوصول إلى أفضل النتائج الممكنة، يكمن الحصول على الحقول الكهرومغناطيسية في منطقة الحل بطريقة FDTD فبعد بناء الشبكة الفراغية (المكانية) الزمنية والشكل الهندسي للجسم ومن 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 يجب أن يتحقق الشرط التالي للحصول على حلول دقيقة:

$$\Delta r / \Delta t < V \quad (5)$$

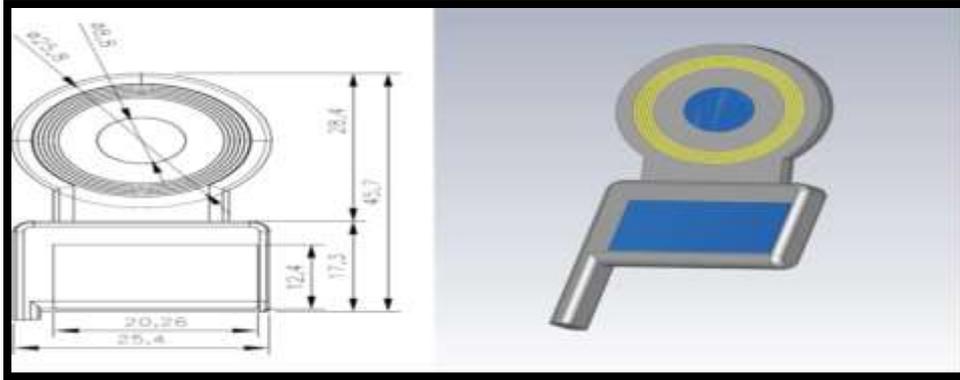
حيث أن:

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

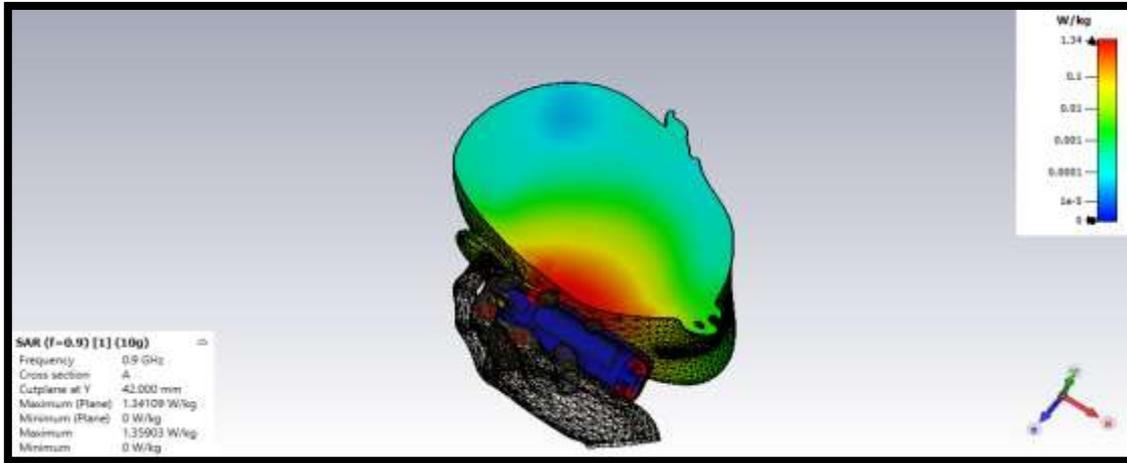
وتمثل المسافة المكانية بين نقاط الحل V : سرعة انتشار الموجة داخل المادة موضع الاهتمام. نستنتج أن حساب الحقول يتركز على الخطوة الزمنية والتي يجب أن تكون أصغر من أي مدة زمنية ومنها نحصل على شرط استقرارية الحل:

$$V_{max} \cdot \Delta t \leq [1/\Delta x^2 + 1/\Delta y^2 + 1/\Delta z^2]^{-1/2} \quad (6)$$

أجريت النمذجة لرأس الإنسان مع استخدام زرعة جذع الدماغ السمعي متوضعة داخل النسيج البشري للرأس بينما



الشكل (5) الأبعاد الهندسية لزراعة جذع السمع (16)



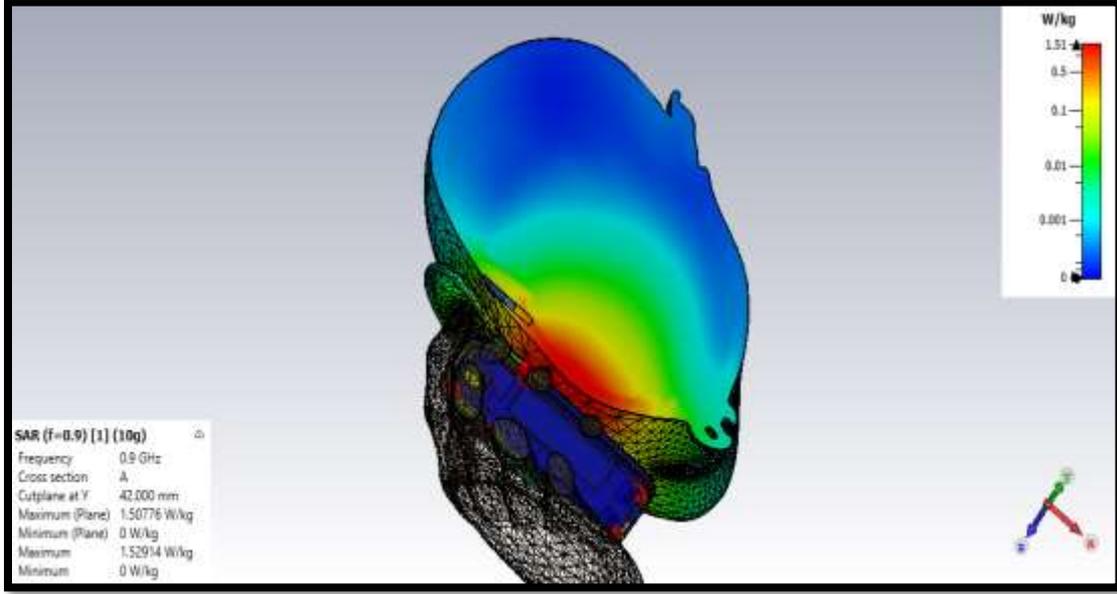
الشكل (6) SAR عند التردد 0.9 GHz بدون زراعة

كبيراً تكررت الحسابات عند التردد السابق (0.9 GHz) بوجود زراعة جذع الدماغ السمع، ويبين الشكل (7) توزيع معدل الامتصاص النوعي داخل الرأس حيث يظهر من الشكل أن الطاقة تتركز في نصف الرأس بدءاً من موضع سقوط الموجة وتظهر بؤر إضافية حول زراعة جذع الدماغ السمع بكثافة طاقة ملحوظة تصل إلى قيمة 1.51 W/Kg ويظهر تفاوت في توزيع الطاقة مقارنة مع عدم وجود الزرعة، ويظهر بوضوح زيادة في معدل الامتصاص النوعي، يتناقص هنا أيضاً معدل الامتصاص النوعي كلما اتجهنا إلى مركز الرأس أي كلما ابتعدنا عن المنبع. تبين النتائج في كلا الحالتين أن القيم مازالت ضمن المعايير

أجريت دراسة معدل الامتصاص النوعي ويبين الشكل (6) توزيعه في رأس الإنسان عند التردد (0.9 GHz) بدون وجود زراعة جذع الدماغ السمع، يلاحظ من الشكل أن الطاقة تتوزع بشكل غير منتظم انطلاقاً من أعلى قيمة على الجلد وتتناقص وصولاً إلى مركز الرأس، وتجدر الإشارة أن تركز الطاقة الكهرومغناطيسية في الجهة الملامسة للهاتف الجوال (المنبع) يكون بشكل أكبر من الجهة الأخرى حيث وصلت قيمة معدل الامتصاص النوعي إلى قيمة 1.34 W/Kg وهذه القيمة ضمن الحدود المسموح بها عالمياً، يمكن أن تشكل مثل هذه القيم سبباً لارتفاع الحرارة موضعياً إذا كانت فترات ومعدل تكرار الاستخدام

إلا أن وجود الزرعة أدى إلى زيادة في كمية الطاقة الكهرومغناطيسية الممتصة وقيم ملحوظة يجب الانتباه إليها وأخذها بالحسبان.

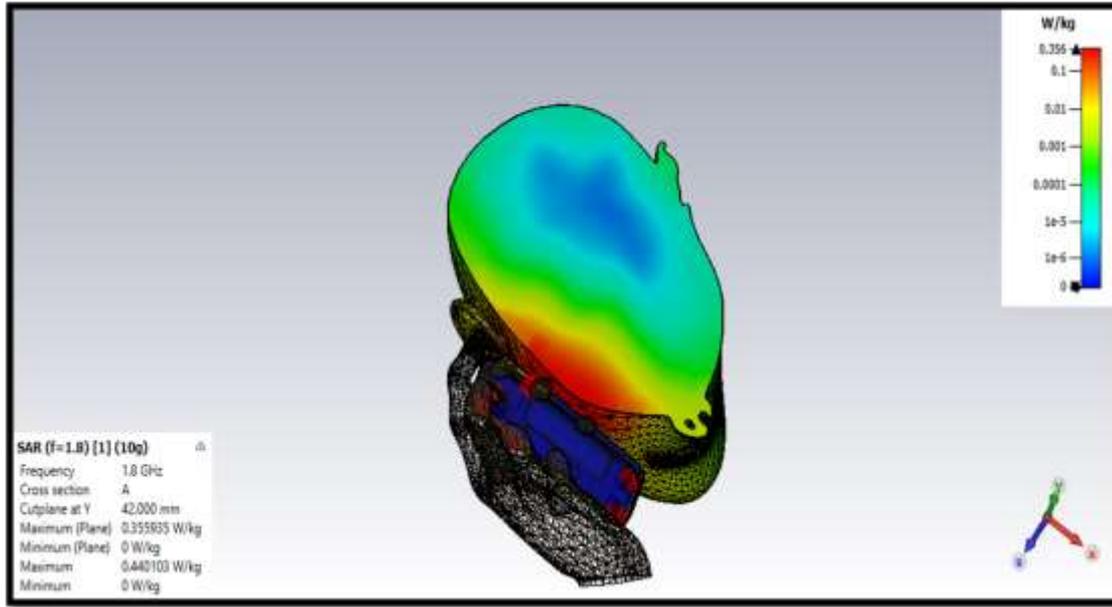
المسموح بها وفق الهيئات الدولية المتخصصة بالإشعاع غير المؤين التي تسمح بمعدل 1.6 W/Kg كما يوضح الجدول (6) السويات العالمية لمعدل الامتصاص النوعي



الشكل (7) SAR عند التردد 0.9 GHz مع زرعة جذع الدماغ السمعي

حيث وصلت إلى قيمة معدل الامتصاص النوعي إلى 0.356 W/Kg وهذه القيمة ضمن الحدود المسموح بها عالمياً، يمكن أن تشكل مثل هذه القيم مسبباً لارتفاع الحرارة موضعياً إذا كانت فترات ومعدل تكرار الاستخدام كبيراً.

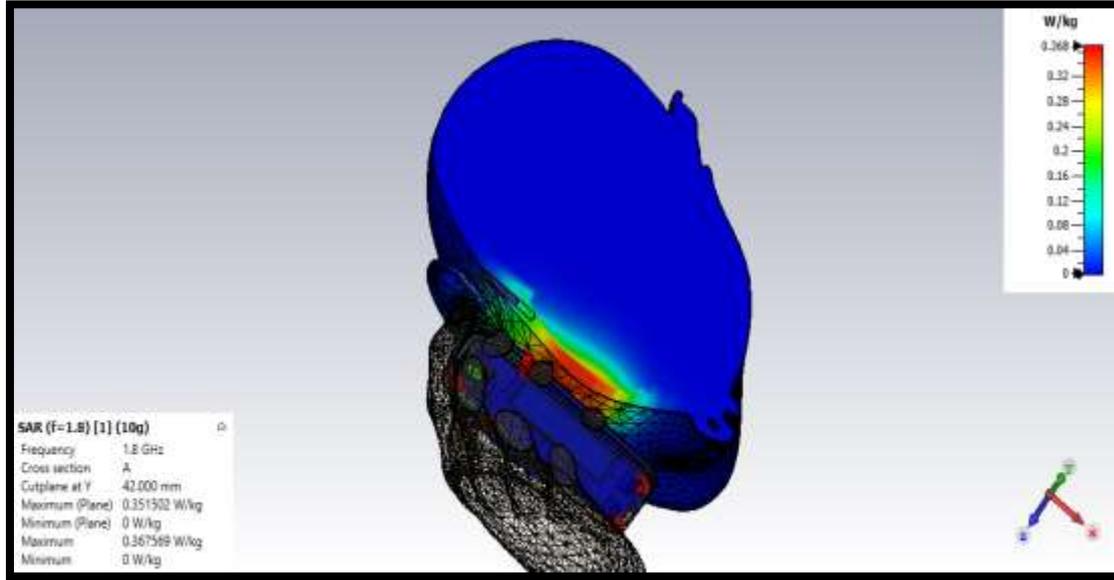
أجريت دراسة معدل الامتصاص النوعي ويبين الشكل (8) توزيعه في رأس الإنسان عند التردد (1.8 GHz) بدون وجود زرعة جذع الدماغ السمعي، يلاحظ من الشكل أن الطاقة تتوزع بشكل غير منتظم انطلاقاً من أعلى قيمة على الجلد وتتناقص وصولاً إلى مركز الرأس، وتجدر الإشارة أن تتركز الطاقة الكهرومغناطيسية في الجهة الملامسة للهاتف الجوال (المنبع) يكون أكبر من الجهة الأخرى



الشكل (8) SAR عند التردد 1.8 GHz بدون زرعة

اتجهنا إلى مركز الرأس أي كلما ابتعدنا عن المنبع. تبين النتائج في كلا الحالتين أن القيم مازالت ضمن المعايير المسموح بها وفق الهيئات الدولية المتخصصة بالإشعاع غير المؤين التي تسمح بمعدل 1.6 W/Kg كما يوضح الجدول (6) السويات العالمية لمعدل الامتصاص النوعي إلا أن وجود الزرعة أدى إلى زيادة في كمية الطاقة الكهرطيسية الممتصة ويقوم ملحوظة يجب الانتباه إليها وأخذها بالحسبان.

تكررت الحسابات عند التردد السابق (1.8 GHz) بوجود زرعة جذع الدماغ السمعي، ويبين الشكل (9) توزيع معدل الامتصاص النوعي داخل الرأس حيث يظهر من الشكل أن الطاقة تتركز في نصف الرأس بدءاً من موضع سقوط الموجة وتظهر بؤر إضافية حول زرعة جذع الدماغ السمعي بكثافة طاقة ملحوظة تصل إلى قيمة 0.368 W/Kg ويظهر تفاوت في توزيع الطاقة مقارنة مع عدم وجود الزرعة، ويظهر بوضوح زيادة في معدل الامتصاص النوعي، يتناقص هنا أيضاً معدل الامتصاص النوعي كلما



الشكل (9) SAR عند التردد 1.8 GHz مع زرعة

الجدول (6) معايير SAR العالمية التعرض [1,14]

SAR (أطراف) [W/kg]	SAR (الرأس والجذع) [W/kg]	كامل الجسم SAR [W/kg]	المجال الترددي
4	1.6	0.08	100kHz-10MHz
4	1.6	0.08	10MHz-10GHz

يوضح الشكل (10) 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 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 بالتدريج حتى تتعدم والجدير بالذكر أن الزرعة تقع في المجال mm (8-16) من المحور Z

يبين الجدول (5) النتائج التي تم التوصل إليها خلال هذا البحث عند الترددات المدروستين ووفقاً لحالتي وجود زرعة جذع دماغ سمعي وغيابها حيث يلاحظ أن نسبة الزيادة المئوية في معدل الامتصاص النوعي عند التردد 0.9 GHz كانت 12.5% بينما أصبحت النسبة عند التردد 1.8 GHz بحدود 3% وبالتالي فإن وجود زرعة جذع الدماغ السمعي أدى إلى زيادة في معدل الامتصاص النوعي لكن هذه الزيادة تبقى ضمن الحدود المسموح بها وفقاً للمعايير الصادرة عن الهيئات الدولية المتخصصة في التعرض الإشعاعي ويوضح الجدول (6) القيم والمعايير الحدية المسموح بها عند التعرض للأمواج الكهرومغناطيسية.

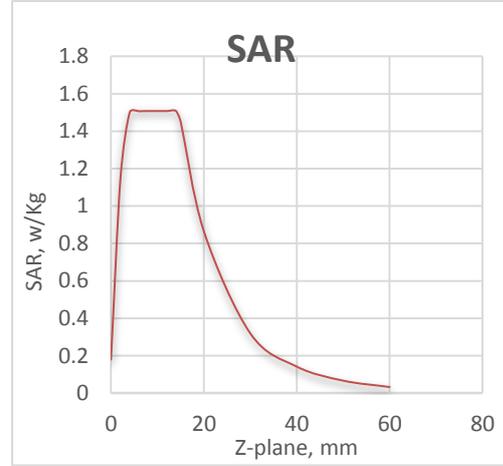
الجدول (5) نتائج SAR مع وبدون زرعة عند الترددات (0.9/1.8 GHz)

التردد	0.9 GHz	1.8 GHz
الحالة		
SAR بوجود الشبكة W/kg	1.53	0.368
SAR بدون الشبكة W/kg	1.36	0.356
نسبة الزيادة المئوية	12.5 %	3%

تجاوزت بعض القيم للحدود المسموحة وبعضها ضمن الحدود أما في دراستنا كانت القيم ضمن الحدود المسموح بها زرعات جذع الدماغ بينما في دراستنا كانت قيم معدل الامتصاص النوعي ضمن الحدود المسموح بها يعود ذلك إلى اختلاف شروط الدراسة والنموذج المدروس من (اختلاف شكل الزرعة، وبعد الهوائي، توضع الالكترودات داخل الرأس....)

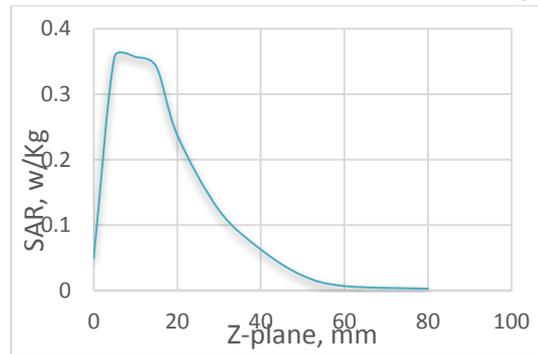
5-الاستنتاجات والتوصيات

- أظهرت نتائج الدراسة وجود زيادة في قيمة معدل الامتصاص النوعي عند التردد 0.9 GHz داخل نموذج الرأس المدروس للأشخاص الذين يتم تركيب زرعات جذع دماغ سمعي لهم بنسبة 12.5% و 3% 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 جذع الدماغ المزروع.
- قدمت نتائج الدراسة إلى أنه يمكن الحصول على توزيع لمعدل الامتصاص النوعي داخل المادة الحية، وأن هذه الطاقة تتمركز بأعلى كثافة في موضع سقوط الموجة مما يسبب تسخينها موضعياً.
- تبين النتائج التي تم التوصل إليها أنه يجب على مرضى الذين يتم زرع جذع دماغ لهم الابتعاد عن التعرض لمصادر الحقول الكهرومغناطيسية بشكل مستمر لأن ذلك يمكن أن يؤدي إلى آثار جانبية غير مأخوذة بالحسبان.
- تتيح تقنيات الكهرومغناطيسية الحسابية إمكانية ملاحظة التغيرات المكانية والزمانية لشدتي الحقل الكهربائي والمغناطيسي في الفراغ والزمن في الأوساط بما فيها



الشكل (10) تغير SAR مع المسافة عند التردد 0.9

يوضح الشكل (11) 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 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 0.368 W/Kg وتحافظ على هذه القيمة مسافة 11 mm تقريباً ومن ثم تتناقص بالتدريج.



الشكل (11) تغير SAR مع المسافة عند التردد 1.8

بمقارنة النتائج مع الدراسة المرجعية [1] نجد أنها ركزت على الحظر المزروع وكانت النتائج متجاوزة المعايير العالمية للتعرض بينما في الدراسة المرجعية [3]

المادة الحية، وذلك بمراعاة الشروط الحدية للوسط والقياسات الأولية.

- قدم استخدام النمذجة الكهرومغناطيسية الحيوية إمكانية الحصول على قيمة الحقول الكهربائية والمغناطيسية في أي موضع وفي أي لحظة زمنية ومقارنتها مع النظم المعيارية العالمية للتعرض الكهرومغناطيسي للإنسان.
- توفر النتائج أن تقنيات النمذجة والمحاكاة الحاسوبية ومنها البيئة البرمجية (CST) للباحثين قاعدة علمية يمكن الارتكاز عليها لفهم آلية تداخل الحقول الكهرومغناطيسية مع المادة الحية حتى على المستوى الميكروي لبنية المادة.
- تشكل حسابات الجرعة الكهرومغناطيسية الحيوية بدقة عالية خطوة مهمة في مجال تطوير الأجهزة الكهرومغناطيسية الحيوية بما فيها الأجهزة الطبية.

- [9] 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), 745-759.
- [10] Inan, U. S., & Marshall, R. A. (2011). *Numerical electromagnetics: the FDTD method*. Cambridge University Press.
- [11] [http://www.cst.com .website\(1/8/2021\)](http://www.cst.com .website(1/8/2021))
- [12] Panagopoulos, D. J., Johansson, O., & Carlo, G. L. (2013). Evaluation of specific absorption rate as a dosimetric quantity for electromagnetic fields bioeffects. *PLoS one*, 8(6), e62663.
- [13] Baayer, J., & Ammor, H. (2019) Invention of an Original Tetra-Generations Patch Antenna for the New Generation of Mobile Telephony and the Study of the Thermal Effect of GSM on the Human Head and Hand. In *ICCWCS 2019: Third International Conference on Computing and Wireless Communication Systems, ICCWCS 2019, April 24-25, 2019, Faculty of Sciences, Ibn Tofaïl University-Kénitra-Morocco* (p. 90). European Alliance for Innovation.
- [14] Code, S. (2015). Limits of human exposure to radiofrequency electromagnetic energy in the frequency range from 3 khz to 300 ghz. *Health Canada*.
- [15] Baida, F. I., & Belkhir, A. (2012). Finite Difference Time Domain Method for Grating Structures, *Gratings: Theory and Numeric Applications. E. Popov (Ed.)*, 9-1.[16] Houle, J. E., & Sullivan, D. M. (2020). *Electromagnetic Simulation Using the FDTD Method with Python*. John Wiley & Sons.[17] [https://www.mayoclinic.org/tests-procedures/auditory-brainstem-implant/about/pac-20384649, \(1/8/2021\)](https://www.mayoclinic.org/tests-procedures/auditory-brainstem-implant/about/pac-20384649, (1/8/2021))
- [18] Møller, A. R. (2006). History of cochlear implants and auditory brainstem implants. *Cochlear and brainstem implants*, 64, 1-10.

References

- [1] Mydlova, J., Benova, M., Psenakova, Z., & Smondrk, M. (2019, June). Evaluation of Specific Absorption Rate in SAM Head Phantom with Cochlear Implant with and Without Hand Model Near PIFA Antenna. In *International Conference on Information Technologies in Biomedicine* (pp. 518-527). Springer, Cham.
- [2] Sibella, F., Parazzini, M., Paglialonga, A., & Ravazzani, P. (2009). Assessment of SAR in the tissues near a cochlear implant exposed to radiofrequency electromagnetic fields. *Physics in Medicine & Biology*, 54(8), N135.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] Nagel, J. R., Furse, C. M., Christensen, D. A., & Durney, C. H. (2018). *Basic Introduction to Bioelectromagnetics*. CRC Press.
- [6] Dhanasingh, A., & Hochmair, I. (2021). ABI-auditory brainstem implant. *Acta Oto-Laryngologica*, 141(sup1), 63-81.
- [7] Wong, K., Kozin, E. D., Kanumuri, V. V., Vachicouras, N., Miller, J., Lacour, S., ... & Lee, D. J. (2019). Auditory brainstem implants: recent progress and future perspectives. *Frontiers in neuroscience*, 13, 10.
- [8] Code, S. (2015). 6, Limits of human exposure to radiofrequency electromagnetic fields in the frequency range from 3 kHz to 300 GHz. *Health Canada*.