

الجرعات الإشعاعية الناتجة عن الهاتف الخليوي

الدكتور علي محمود العلي*

(تاريخ الإيداع 13 / 11 / 2008. قُبل للنشر في 2009/2/23)

□ الملخص □

يتضمن البحث الراهن عرضاً مختصراً لمشكلة الحماية من إشعاعات الحقل الكهرطيسي غير المؤين. وفي هذا المجال نقدم إحدى الطرق المتطورة " النمذجة الرقمية للحقل الكهرطيسي " ، والتي تسمى بطريقة الفروقات المنتهية بالزمن (FDTD) . تهدف هذه الطريقة لمعالجة مشكلة قياس الجرعات الإشعاعية الناتجة عن الهاتف الخليوي ، التي توصلنا بنتيجتها إلى نتائج رقمية سيتم عرضها بوصفها أمثلة وبراهين .

الكلمات المفتاحية: الجرعات الإشعاعية - إشعاعات الحقل الكهرطيسي - تأثير الهاتف الخليوي - طريقة الفروقات المنتهية بالزمن (FDTD)

* أستاذ مساعد - قسم هندسة الاتصالات والإلكترونيات - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Radiation Dosages Produced by Telephone Cellular

Dr. Ali .M. Ali*

(Received 13 / 11 / 2008. Accepted 23 / 2 / 2009)

□ ABSTRACT □

This research includes the problem of protection against the none-ionized electro-magnetic field radiation. In this respect, we highlight one of the advanced methods "digital simulation of the electric field", which is called the Finite Difference Time Domain method (FDTD). This method aims at solving the problem of measuring the radiation dosages produced by the cellular (phone). Therefore, we have got numerical mathematical results to be presented as proofs and examples.

Key Words : Radiation dosages, electro-magnetic radiation, effect of the cellular (phone), FDTD

*Associate Professor, Department of Communication & Electronic Engineering, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, Tishreen University , Lattakia, Syria.

مقدمة:

استوجب التطور الديناميكي الكبير للهاتف الخليوي اهتماماً واسعاً بمشكلة تأثير الحقل الكهرومغناطيسي في الأشخاص (EMF=ElectroMagnetic Field)؛ أي الحقل الكهرومغناطيسي الناتج عن أجهزة النظام الخليوي مثل (أطراف التوصيل ، الهواتف المحمولة وهواتف الخدمة وكذلك أجهزة إرسال المحطة الأساسية). بأية حال النتائج الصحية لهذا التأثير توظف دائماً الخلاف والجدل والشك والمخاوف . إلا أنّ ردة الفعل هذه ناتجة عن الاهتمام الشخصي الزائد بالصحة، لكنها غير مدعومة بأسس علمية؛ وذلك لأنّ الفعالية البيولوجية للحقول الكهرومغناطيسية (EMF) هي حقيقة معروفة منذ عدة سنوات فقط .

لا يكون تأثير الحقل الكهرومغناطيسي (EMF) في جسم الإنسان ضاراً، إذا كانت هذه التأثيرات هي في حدود المقاومة الفعالة للكائن الحي ضدها، بالإضافة إلى إمكانية التكيف الفيزيولوجي للجسم مع هذا التأثيرات. بينما يكون هذا التأثير ضاراً إذا تجاوز الحدود المسموح بها لإمكانات الكائن الحي . هذا الأمر يستوجب صياغة قوانين حماية وإصدارها، للسيطرة على تأثيرات الحقل الكهرومغناطيسي أو الحد منها.

إن الإشعاع الكهرومغناطيسي في كل مجالات التردد الراديوي وحتى/300GHz/ هو إشعاع غير مؤين . و نتائج الفحوصات حول تأثيرات الإشعاع الكهرومغناطيسي غير المؤين في الكائن الحي يمكن تسميتها بالتأثير البيولوجي الحراري وغير الحراري .

بالنسبة إلى التأثير الحراري للطاقة الكهرومغناطيسية: ينتج هذا التأثير بسبب ارتشاح الحقل الكهرومغناطيسي داخل جسم الإنسان؛ إذ إنّ قسماً من هذه الطاقة الناتج من الحقل الكهرومغناطيسي يتحول في أنسجة جسم الإنسان وخلاياه إلى حرارة، وهذا يؤدي بدوره إلى ارتفاع ملحوظ في درجة حرارة الجسم . نضيف إلى ذلك أن هذا التأثير الحراري لاخلاف حوله؛ لأنه معروف منذ زمن بشكل جيد وموثق، و يمكن بسهولة إظهار نتائج تأثير الطاقة الكهرومغناطيسية في جسم الإنسان . نظراً لما تقدم من أسباب ظهرت فكرة الحماية من إشعاعات الحقل الكهرومغناطيسي غير المؤين، والتي تجلت من خلال التوصيات العلمية الناتجة عن المؤتمرات الدولية ذات الصلة ، كما صدرت القواعد والإرشادات الصحية التي تنشرها منظمة الصحة العالمية. كل ذلك لتحديد الأسس الضرورية التي تضمن الحماية، والتي تحد من التأثير الحراري. وفي هذا السياق يجب أن نعترف بأن إدخال عامل التأثير الحراري في الحساب فقط ، هو حجة ضعيفة جداً وسيكون من أكثر النقاط عرضة للانتقاد في هذا المجال .

إن معايير قياس الجرعات الإشعاعية، التي توصي بها المؤتمرات الدولية وتعمل عليها والممثلة بالقوانين الدولية التي تخص الحماية من الأضرار الناتجة عن الإشعاعات الكهرومغناطيسية غير المؤينة [1],[2],[3]، تسمى بـ (SAR) / Specific Absorption Rate /؛ أي (معدل الامتصاص والتسرب النوعي). هذه المعايير مقاسة بالواط /كغ (w/kg) وهي تحدد كمية الإشعاعات الكهرومغناطيسية التي تدخل جسم الإنسان، ونعني بذلك قوة التسرب في كتلة جسم الإنسان. المعيار القياسي الأوروبي [3]، يسمح وخاصة بالنسبة إلى الوسط الطبيعي أن تصل هذه القيمة إلى (0.08w/kg) بوصفها قيمة وسطية ل SAR بالنسبة إلى كامل الجسم، وإلى الرقم (2w/kg) بوصفها قيمة وسطية لكل (10g) من خلايا الجسم (وهي قيمة وسطية لكل 6 دقائق من المراقبة).

إن قيمة العامل /SAR/ تعطى بالعلاقة الرياضية التالية:

$$SAR = \sigma \frac{E^2}{\rho} \quad (1)$$

حيث: σ ، ρ ، تعبران عن الناقلية النوعية والكتلة الحقيقية (أو الكثافة) لخلايا الجسم، بينما الرمز E يعبر عن القيمة الفعالة لشدة الحقل الكهربائي في الخلايا. العلاقة (1) تشير قبل كل شيء إلى أن التسرب (SAR) هو مقدار له صفة موضعية محلية وتنبه منه، بمعنى أن قيم (σ ، ρ ، E) لها علاقة بالمكان الذي يعطى فيه الحقل والذي يصف/أو يحدد /معدل تسرب الطاقة الكهروستاتيكية خلال الخلايا وفي المكان المدروس.

إن التوزيع الفراغي ل SAR في جسم الإنسان عادة غير منتظم . ومن هنا نستنتج أن الجسم ليس وسطاً متجانساً، وأن الأنسجة (الخلايا) التي يتألف منها جسم الإنسان تختلف فيما بينها بشكل واضح بالبارامترات الكهربائية . كمثال على ذلك ،نعلم أن خلايا العضلات تتقل التيار الكهربائي أفضل بعشر مرات من التيار الذي تنقله خلايا الشحوم . والخلايا ذات الناقلية الجيدة يتم فيها تسرب الطاقة الكهروستاتيكية بشكل أفضل من الخلايا ذات الناقلية الضعيفة .بالإضافة لذلك فإن توزيع SAR في جسم الإنسان يعتمد أيضاً على مركز منبع الإشعاع المتعلق بجسم الإنسان من حيث خصائص المنبع و تردد العمل .

SAR هي قيمة من الصعب الحصول على قياساتها بالطرق التجريبية المعروفة والتوزيع الفراغي للطاقة في جسم الإنسان الحي حالياً غير ممكن مراقبتها مباشرة .

يمكن القول إن العبارة التي توحى بالتناقض والواردة في التوصيات العليا والحمايات ذات المقياس المعياري، هي العمل على كمية واحدة من الجرعات الإشعاعية والتي لا يمكن الحصول على قيمتها بشكل مباشر . تحدد هذه الحالة على الأقل و لدرجة معينة تعيين مستويات النقل لما يسمى بالكمية المشتقة و التي يعبر عنها في الاتفاقيات الدولية بالقيم (E,H)؛ أي الحقل الكهربائي و الحقل المغناطيسي، وكذلك كثافة تدفق الطاقة الكهروستاتيكية والتي يرمز لها ب S. ومن المهم القول إن حدود مستويات هذه القيم المحددة للحقل لا تقلق حالياً جهة العناية بالشخص المعرض للخطر. هذه الظاهرة تسهل بشكل جيد تقييم الخطر عبر قياس (E,H، أو S) في منابع الإشعاع القريبة. نتيجة القياس التي تم التوصل إليها هنا ليس لها قيمة نهائية كاملة أو مقنعة؛ وذلك لأن تجاوز مستوى النقل لشدة الحقل الكهربائي أو كثافة الطاقة في الحقل لا يسبب ولا يستدعي القلق، إلا أنه من جهة أخرى لا يملك دائماً قيمةً تتجاوز الحدود المسموح بها لكمية الجرعات الإشعاعية أي (SAR)، و خاصة في مجال الحقل الذي يوجد فيه الشخص المعرض للإشعاع . وهنا يطرح السؤال المهم التالي : كيف يمكن تقدير الخطر؟.

عملياً يوجد طريقتان :

الأولى : هي طريقة المحاكات الرقمية عن طريق الكمبيوتر، و الثانية : هي طريقة القياس على نماذج أشخاص ماديين (فيزيائيين) و التي تسمى عادة بالأشباح.

أهمية البحث و أهدافه:

يهدف البحث بشكل أساسي لتقديم نموذج رياضي يمكننا من تقدير كمية الإشعاعات الكهروستاتيكية وقياسها بشكل عام، ومعرفة قيمة الحقل الكهربائي في مواقع مختلفة من الرأس وخاصة في المنطقة التي تتعرض باستمرار للإشعاع (منطقة الخلايا المحيطة بالأذن والمناطق القريبة منها تقريباً 5mm).

طريقة البحث ومواده :

تلخص طريقة البحث في النقاط الرئيسة التالية :

- 1- استخراج المعادلات الرياضية المناسبة التي تصف الحالة المدروسة.
- 2- دراسة الطريقة (FDTD) .
- 3- استخدام طريقة (FDTD) لحساب توزيع مركبات الحقل الكهرومغناطيسي وإظهاره في الخلايا التي تتعرض للإشعاعات الكهرومغناطيسية.
- 4- تصميم أشكال هندسية مختلفة قريبة و مناسبة لرأس الإنسان وبأعمار مختلفة.

النتائج والمناقشة:

التحليل والمناقشة لطريقة (FDTD): Finite Difference Time-Domain

إن الهيئة العلمية الأوروبية المعيارية في الإلكترونيات (CENELEC) تتصح باستخدام عدة طرق متقدمة للمحاكاة الرقمية بوصفها أداة فعالة لحساب الجرعات الإشعاعية أو توقع المخاطر الإشعاعية الكهرومغناطيسية وتقييمها بشكل عام والمخاطر الإشعاعية الناتجة عن الهاتف الخليوي بشكل خاص [3,4].

هناك عدة طرق تستخدم لتحليل انتشار الأمواج الكهرومغناطيسية لأهداف متنوعة، إلا أن الطريقة الأفضل في هذه الدراسة هي استخدام طريقة (FDTD) وتعديلاتها المختلفة [5]. الميزة الأساسية لطريقة FDTD هي مرونة الاستخدام وسهولته، حيث تظهر أهميتها عندما تستدعي الدراسة ضرورة تحليل الحقل الكهرومغناطيسي في الأنظمة التي تكون غير متجانسة كهربائياً.

بدأ العمل بهذه الطريقة منذ عام 1966 [13]، وظل استخدامها محدوداً نظراً للإمكانيات المتواضعة للحواسيب حينذاك، كما اقتصر استخدامها على البنى صغيرة الحجم، كالشرائح الميكروية، وغدت هذه الطريقة أكثر استخداماً بعد التطور السريع في سرعات الحواسيب وذواكرها لتلائمها مع الأشكال المختلفة للبنى المدروسة.

تتلخص طريقة FDTD بتقسيم الحيز المكاني المدروس بشبكة دقيقة، ترتبط أبعاد خلاياها بمدى الدقة المطلوبة في وصف البارامترات الكهربائية الأساسية البنوية (σ, ϵ, μ) للشكل أو للنظام المدروس. ومن ثم إيجاد الحقل الكهربائي والمغناطيسي عند كل خلية تبعاً للزمن. ويتعبّر آخر يمكن القول إن الفكرة العامة لهذه الطريقة تقود إلى بناء نظام أو نموذج مميز لتحليل الشبكة، وإيجاد الحلول بطريقة التفاضل المطلق لمعادلات ماكسويل في مجال الزمن.

الخوارزمية الأساسية لبناء الحل الرقمي مقدمة من قبل العالم K.S.Yee [6] الذي طورها فيما بعد العالمان A. Taflove و M.E. Brodwin [7].

تتعلق هذه الطريقة من الشكل التفاضلي لمعادلات ماكسويل التالية:

$$\frac{\partial \vec{H}}{\partial t} = \frac{1}{\mu} \nabla \times \vec{E} - \frac{\rho'}{\mu} \vec{H}$$

$$\frac{\partial \vec{E}}{\partial t} = \frac{1}{\epsilon} \nabla \times \vec{H} - \frac{\sigma}{\epsilon} \vec{E}$$

إذ إن (ϵ و μ) هما النفوذية المغناطيسية و السماحية الكهربائية للمادة و (ρ', σ) هما الناقلية الكهربائية النوعية والمقاومة النوعية المغناطيسية على التوالي.

يبين الشكل (1) توزيع الحقل الكهربائي والمغناطيسي في خلية واحدة، وكنقطة بداية سنستخدم هنا ست معادلات تفاضلية مكتوبة في النظام الديكارتي (x,y,z) تتناسب وترتبط مع معادلاتي ماكسويل الدورانية الأولى والثانية و التي تصف الحقل الكهرومغناطيسي في وسط خطي متجانس (أيزوتروبي) له البارامترات الكهربائية المذكورة سابقاً: (μ, ϵ, σ) والمستقلة عن الزمن :

$$\frac{\partial H_x}{\partial t} = \frac{1}{\mu} \left(\frac{\partial E_y}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial y} \right) \quad (2a)$$

$$\frac{\partial H_y}{\partial t} = \frac{1}{\mu} \left(\frac{\partial E_z}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial z} \right) \quad (2b)$$

$$\frac{\partial H_z}{\partial t} = \frac{1}{\mu} \left(\frac{\partial E_x}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial x} \right) \quad (2c)$$

$$\frac{\partial E_x}{\partial t} = \frac{1}{\epsilon} \left(\frac{\partial H_z}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial z} - \sigma E_x \right) \quad (2d)$$

$$\frac{\partial E_y}{\partial t} = \frac{1}{\epsilon} \left(\frac{\partial H_x}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial x} - \sigma E_y \right) \quad (2e)$$

$$\frac{\partial E_z}{\partial t} = \frac{1}{\epsilon} \left(\frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} - \sigma E_z \right) \quad (2f)$$

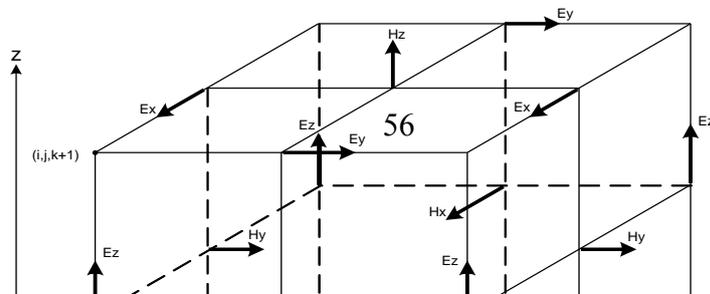
وبالاستفادة من [6,7] فإن شبكة العقد المربعة المبين في الشكل (1) و الذي ينشئ الحل الرقمي للمعادلتين (3 و 4) التاليتين :

$$(i, j, k) = (i\delta_x, j\delta_y, k\delta_z) \quad (3)$$

$$F^n(i, j, k) = F(i\delta_x, j\delta_y, k\delta_z, n\delta t) \quad (4)$$

حيث :

$\delta = \delta_x = \delta_y = \delta_z$ تعني قفزة الشبكة ، δt هي الخطوة الزمنية.



الشكل (1): مركبات الحقل الكهرومغناطيسي في خلية واحدة من الحيز الفراغي.

وبأخذ المشتق التفاضلي المتقارب للتابع F بالنسبة إلى الزمن والمسافة من العلاقة (4) نحصل على المعادلتين التاليتين :

$$\frac{\partial F^n(i, j, k)}{\partial x} = \frac{F^n(i + 0.5, j, k) - F^n(i - 0.5, j, k)}{\delta} + O(\delta^2) \quad (5)$$

$$\frac{\partial F^n(i, j, k)}{\partial t} = \frac{F^{n+0.5}(i, j, k) - F^{n-0.5}(i, j, k)}{\delta t} + O(\delta t^2) \quad (6)$$

الآن وبوضع مركبات أشعة الحقول (H,E) على حواف عناصر الشبكة الخلوية وجدانها (أي خلية Yee) المبينة في الشكل (1) وبحساب الحقول (H,E) كل نصف خطوة زمنية وبالتناوب، نحصل وبالمعالجة الرياضية على نظام مجموعة المعادلات المبينة أدناه، والتي تظهر بنهايات تفاضلية، بوصفها جواباً للمعادلات التفاضلية السابقة رقم (2a,b,c,d,e,f).

$$H_x^{n+0.5}(i, j+0.5, k+0.5) = H_x^{n-0.5}(i, j+0.5, k+0.5) + \frac{\delta t}{\mu(i, j+0.5, k+0.5)\delta} \cdot \left[E_y^n(i, j+0.5, k+1) - E_y^n(i, j+0.5, k) + E_z^n(i, j, k+0.5) - E_z^n(i, j+1, k+0.5) \right] \quad (7a)$$

$$H_y^{n+0.5}(i+0.5, j, k+0.5) = H_y^{n-0.5}(i+0.5, j, k+0.5) + \frac{\delta t}{\mu(i+0.5, j, k+0.5)\delta} \cdot \left[E_z^n(i+1, j, k+0.5) - E_z^n(i, j, k+0.5) + E_x^n(i+0.5, j, k) - E_x^n(i+0.5, j, k+1) \right] \quad (7b)$$

$$H_z^{n+0.5}(i+0.5, j+0.5, k) = H_z^{n-0.5}(i+0.5, j+0.5, k) + \frac{\delta t}{\mu(i+0.5, j+0.5, k)\delta} \cdot \left[E_x^n(i+0.5, j+1, k) - E_x^n(i+0.5, j, k) + E_y^n(i, j+0.5, k) - E_y^n(i+1, j+0.5, k) \right] \quad (7c)$$

$$E_x^{n+1}(i+0.5, j, k) = E_x^n(i+0.5, j, k) \left[1 - \frac{\sigma(i+0.5, j, k)\delta t}{\varepsilon(i+0.5, j, k)} \right] + \frac{\delta t}{\varepsilon(i+0.5, j, k)\delta} \cdot \left[H_z^{n+0.5}(i+0.5, j+0.5, k) - H_z^{n+0.5}(i+0.5, j-0.5, k) + H_y^{n+0.5}(i+0.5, j, k-0.5) - H_y^{n+0.5}(i+0.5, j, k+0.5) \right] \quad (7d)$$

$$E_y^{n+1}(i, j+0.5, k) = E_y^n(i+0.5, j, k) \left[1 - \frac{\sigma(i, j+0.5, k)\delta t}{\varepsilon(i, j+0.5, k)} \right] + \frac{\delta t}{\varepsilon(i+0.5, j, k)\delta} \cdot \left[H_z^{n+0.5}(i-0.5, j+0.5, k) - H_z^{n+0.5}(i+0.5, j+0.5, k) + H_x^{n+0.5}(i, j+0.5, k+0.5) - H_x^{n+0.5}(i, j+0.5, k-0.5) \right] \quad (7e)$$

$$E_z^{n+1}(i, j, k+0.5) = E_z^n(i, j, k+0.5) \left[1 - \frac{\sigma(i, j, k+0.5)\delta t}{\varepsilon(i, j, k+0.5)} \right] + \frac{\delta t}{\varepsilon(i, j, k+0.5)\delta} \cdot \left[H_x^{n+0.5}(i, j-0.5, k+0.5) - H_x^{n+0.5}(i, j+0.5, k+0.5) + H_y^{n+0.5}(i+0.5, j, k+0.5) - H_y^{n+0.5}(i-0.5, j, k+0.5) \right] \quad (7f)$$

تمكننا المعادلات السابقة (7) من حساب جميع مركبات الحقول (E, H) حتى n خطوة زمنية في أي عقدة من الشبكة على أساس القيم السابقة لهذه المركبات في العقد المختارة وفي العقد المجاورة. كما هو ملاحظ أن هذه التقنية يمكن أن تحدد بوصفها خطوات ثابتة في الزمن.

يعتمد استقرار طريقة FDTD على البارامترات البنوية للمادة، وعلى التصميم المناسب للشبكة؛ لذلك فإن الحل الأفضل هنا هو الحل الذي يحدد مقدار الخطوة δ في الشبكة، والذي ينبغي أن يكون أصغر بكثير من طول الموجة في الوسط الذي تتم المعالجة لأجله. ولكي تكون خوارزميات الحل مستقرة، فإن الخطوة الزمنية δt يجب أن تحقق الشرط التالي: (شرط الاستقرار)

$$U_{\max} \cdot \delta_t \leq \left(\frac{1}{\delta_x} + \frac{1}{\delta_y} + \frac{1}{\delta_z} \right)^{-1/2} \quad (8)$$

حيث: U_{\max} تعني سرعة طور محلية للموجة الكهرومغناطيسية في البنية المدروسة.

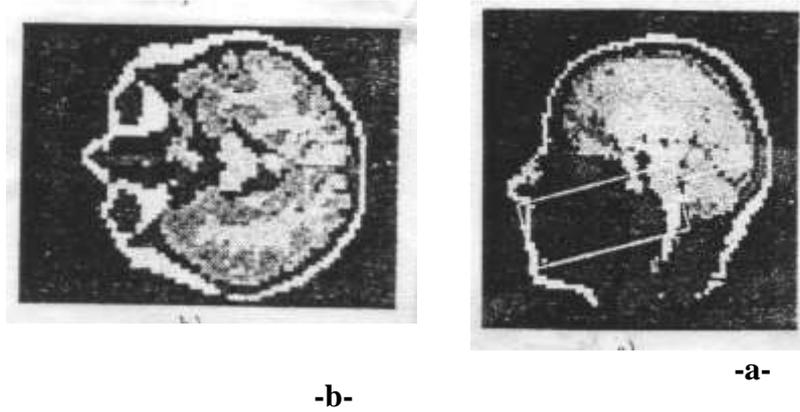
الاستنتاجات والتوصيات:

- الطريقة FDTD تُستخدم منذ عدة سنوات بنتائج جيدة لحل مشكلة قياس الكميات الإشعاعية في الهاتف الخليوي . لكن الجديد في هذه الدراسة هو التحليل المورفولوجي للحقل الكهرومغناطيسي , ومخطط طاقة الامتصاص في رأس مستخدم الهاتف المحمول [8],[11],[13] .
- النتائج الدقيقة التي حصلنا عليها تعتمد قبل كل شيء على نوعية جهاز الكمبيوتر ، وعلى النموذج الأمثل والأقرب لرأس الإنسان ، وكأمثلة على ذلك لاحظ الشكل (2). هذا النموذج يقضي بتشكيل عناصر صغيرة الحجم ، والتي توافق خلية العالم (Yee) والتي تصفها خوارزمية الطريقة FDTD المدروسة سابقاً. إن المساحة المتجانسة لكل عنصر صغير الحجم تتسبب أو تتبع إلى البارامترات الكهربائية (ϵ ، σ) للمواد البيولوجية (أو الخلايا) التي تمثلها .



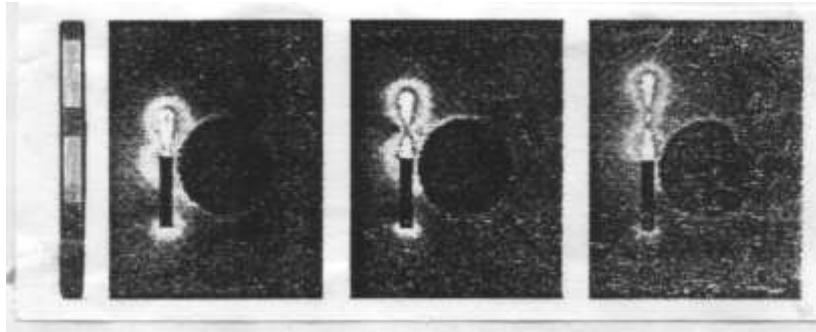
الشكل 2. النماذج الحاسوبية لرأس الإنسان (رجل بالغ + ولد بعمر سبع سنوات + طفل بعمر ثلاث سنوات) [12] .

- النماذج البسيطة لرأس الإنسان تتألف من عشرات الآلاف من الخلايا الصغيرة الحجم، وتظهر الدقة أكثر من خلال علم التشريح الحقيقي، حيث تحتوي على مئات الآلاف من هذه الخلايا لاحظ الشكل (3)، كما وتتميز هذه النماذج من عدة عشرات من الخلايا المختلفة، والتي لاتزال تستخدم نموذج الخلايا المكروية التي يصل تعدادها إلى عدة ملايين من العناصر. وأخيراً من الضروري لفت الانتباه إلى أن تحليل هذه النماذج يتطلب قوة حساب كبيرة جداً.



الشكل 3. نماذج حاسوبية لمقاطع في رأس الإنسان حيث :
(a) مقطع جانبي رأسي مع الإشارة إلى وضع الهاتف الطبيعي. (b) مقطع عرضي أفقي.

- كمثال لتحليل الحقل الكهرطيسي في أنظمة الهاتف الخليوي - نفترض أن رأس المستخدم هو هيئة أو نموذج على شكل كرة قطرها (20Cm)، مع التمييز بين نوعين من الخلايا ، هما عظم الجمجمة والمخ . نضيف إلى ذلك أنه على الرغم من بساطة هذا النموذج، إلا أنه يضمن تقدير جيد للقيمة SAR والتي تكون بشكل وسطي غراماً واحداً لكل عشرة غرامات من كتلة الخلية [10].
- التوزيع الفعال لقيمة شدة الحقل الكهربائي محسوبة عند التردد [915MHz] ، لأجل تلفون بهوائي طوله : $\frac{\lambda}{2}$ ، $\frac{3\lambda}{8}$ ، $\frac{\lambda}{4}$ كما هو مبين في الشكل (4). هذا التوزيع مرقم كروياً لأكبر قيمة لشدة الحقل والتي تلاحظ عند نهاية الهوائي ($\frac{\lambda}{4}$). ولأجل العمليات الحسابية نأخذ بالاعتبار بعد مركز الهاتف عن رأس المستخدم بحيث يكون (5mm). وبفرض أن قيمة الطاقة المقدمة لهوائي الهاتف هي (250mw) فإن أكبر قيمة محلية ل SAR في رأس المستخدم و التي توافق توزيع الحقل المبين تصل إلى حوالي : (0.95w/kg) في حالة هوائي طوله $\frac{\lambda}{4}$ ، و تصل إلى (0.45w/kg) لهوائي طوله $\frac{3\lambda}{8}$ ، وللقيمة (0.22w/kg) للهوائي $\frac{\lambda}{2}$.



الشكل 4. مخطط (لتوزيع) الحقل الكهربائي بترتيبات محددة حول مواقع مختلفة من الرأس : مع استخدام هاتف محمول بهوائي عمودي بطول : $\frac{\lambda}{4}$ على اليسار ، $\frac{3\lambda}{8}$ في الوسط ، $\frac{\lambda}{2}$ على اليمين ، ولأجل قيم محددة للتردد والقدرة: $P=1W$ ، $f=915MHz$.

• النتائج المأخوذة حاسوبياً من قبل مختلف المؤلفين تشير إلى أنه في المجال 900MHz ، فإن رأس المستخدم (المشغل) يمتص من حوالي (40%) إلى (50%) من الطاقة المشعة من قبل الجهاز [9],[10]. ويلاحظ أنه عندما يلامس الجهاز رأس المستخدم فإن SAR يمكن أن تأخذ قيمة تساوي (2.5w/kg)، ووسطياً لأجل (10g) فإن قيمة SAR تصل إلى (0.75w/kg)، ومن المفيد أن نذكر بأن جميع هذه القيم مأخوذة عند قيمة استطاعة تصل إلى هوائي الجهاز النقال و تساوي (250mw) .

• إن قيمة SAR تنقص بشكل مضاعف عندما تزداد المسافة بين الهاتف و رأس المستخدم إلى حوالي (1Cm).

• نتائج المحاكاة التي تستخدم بدقة علم التشريح ،وتستخدم نموذج الرأس المتباين في الأطوال الموجية، تشير إلى وجود قيمة كبيرة ل SAR في مقل العين [9] .

• الجدول أدناه يبين أهم القيم العملية لمعدل الامتصاص ضمن الشروط والمواصفات بالنسبة إلى طول الهوائي والتردد والبعد والاستطاعة .

معدل الامتصاص (SAR)

طول الهوائي البارامترات	$\lambda/4$	$3\lambda/8$	$\lambda/2$
f=915[MHz] p=250[mW] d= 5 [mm]	0.95	0.45	0.22
f=900[MHz] P=250[mW]	حالة تلامس الجهاز مع الرأس		بعد الجهاز عن الرأس (10mm)
	2.5		0.75

المراجع:

- 1-UNEP\WHO\IRPA . *Environmental Health Criteria 137 Electromagnetic Field in the Range 300 Hz to 3000 GHz*, 1993, 137.
- 2-ANSI\IEEE,*Safety levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields ,3 KHz to 300 GHz*, 1992,95.
- 3-CENELEC, *Human Exposure to Electromagnetic fields High Frequency (10KHz to 300 KHz) European prestandard ENV 50166-2*, 1995,12.
- 4-CENELEC . *Considerations for Human Exposure to EMFs from Mobile Telecommunication Equipment ;(MTE) IN The Frequency range 30 MHz to 6 GHz*, 1997,397-401.
- 5-KUNZ K.S., LUEBBERS R.J., "The Finite Difference Time Domain Method for Electromagnetic " , CRC press,1993,110-117.
- 6-YEE K.S., " Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations. In isotropic media " ,IEEE Trans. Antennas Propagat, vol. AP-14, May 1966, 302-307.

- 7-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.
- 8- JENSEN M.A., RAHMAT-SAMII Y.,“ *EM interaction of handset antennas and a human in personal communication* “, Proc, vol.83,. 1995, 7-17.
- 9- DIMBYLOW P.J. & M.MANN S., “ *SAR calculation in anatomically realistic model of the head for mobile communication transceivers at 900MHz and 1.8 GHz*” Physics in Medicine Biology,vol.39, 1994,1537-1553.
- 10- OKONIEWSKI M. & STUCHLY M.A.,“*A Study of the handset antenna and human body interaction* “ IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. MTT-44,.1996,1855-1864.
- 11- HOMBACH V., MEIER K., BURKHARD M., KUHN E.,& N. KUESTER . “ *The dependence of EM energy absorption upon human head modeling at 900MHz* “*ibid.*,1996,1865-1873
- 12- ANNUAL PROGRESS Report, *ETH Laboratory for EMF and Microwave Electronics*, BIOEM Group, 1996,176.
- 13- TAFLORE A., “ *Computational Electrodynamics* ” Attach House, Boost London, 2nd ed, 2000,599.