# حساب التوصيلية الكهربائية في عظام الضفدع

**شافية علي الدنفرية**

قسم الفيزياء - كلية العلوم- جامعة مصراتة sci.misuratau.edu.ly@s.aldenfaria

**الملخص Abstract**

**تتمتع العظام في الكائنات الحية بخواص فيزيائية ميكانيكية وكهربائية, ويعتبر قياس التوصيلية الكهربائية من أهم الخصائص الكهربائية التي تسلط عليها أبحاث العلماء والمتخصصين لعدة أسباب أهمها علاجي في شفاء الكسور في العظام وأغراض جراحية أخرى ومنها ما يبحث في قدرة تحفيز العظم على اعادة النمو من جديد في حالات البتر وغيرها كالبحث عن تصنيع مواد شبه موصلة عضوية , ونسلط الدراسة في هذا البحث على حساب قيمة التوصيلية الكهربائية في عظام الضفدع لكون التجارب أثبتت قدرته على اعادة نمو الأعضاء المبتورة واستجابته للتأثير بالمجال الكهربائي والمغناطيسي, ونقارن هذه النتائج بقيمة التوصيلية الكهربائية تم حسابها عملياً لعظم الأنسان وذلك عند ترددات 50Hz, 100Hz و $10^7$Hz.**

**الكلمات المفتاحية: تأثير هول، التوصيلية الكهربائية، فرق جهد هول، المقاومة النوعية.**

## المقدمة Introduction

يعود تاريخ اكتشاف الكهرباء الحيوية في الكائنات الحية للعالم الايطالي لويجي جوفاني ( **Luigi Gallvani**) سنة 1794 م, حيث اكتشف بالصدفة انجذاب رجل الضفدع للكهرباء فدرس هذه الظاهرة عملياً, وفسرها في ذلك الوقت بتوليد كهرباء وتيار كهربائي في جسم الضفدع, وكان أول من حصل على تيار كهربائي من جسم الكائن الحي.

ورغم صعوبة تقبل فكرة الكهرباء الحيوية في الكائنات الحية في ذلك الوقت استمر العلماء في البحث عن التأثيرات الكهربائية والمغناطيسية على الكائنات الحية ووجد انها تساعد في شفاء الكسور في العظام واعادة نموالأعضاء في الكائنات التي تملك القدرة على اعادة النمو[1].

ويعمل العلماء حديثاً على دراسة التأثر الكهربائي للعظام لعدة أغراض علمية منها جراحي بحث ومنها ما يبحث في تحسين شفاء الكسور بالتأثير الكهربائي والمغناطيسي بتسليط مجال مغناطيسي على العظم, وهنالك أبحاث حديثة لتصنيع مواد شبه موصلة عضوية بمواصفات معينة واستخدامها في تصنيع ترانزوستورات عضوية كدراسة **Birendra Singh** وآخرون (2006) [4], ومنها ما يدرس تأثير هول على اعادة نمو الأعضاء في الكائنات التي تملك القدرة على اعادة نمو الأعضاء كحيوان السمندل, نجم البحر, والضفدع[1].

واكتشف بالمصادفة في أحد المستشفيات في الولايات المتحدة وجود اعادة نمو في حالة بتر طرف الاصبع فوق السلمية للأطفال دون سن 11 سنة [1], كم نجح علماء أخرون في اعادة نمو طرف الاصبع لشخص بالغ [5], وهذا يعطي أمل كبير في امكانية النجاح في اعادة النمو في جسم الانسان مستقبلاً.

كما أثبتت الدراسات وجود تأثير للتردد في بعض الخواص الفيزيائية كالتوصيلية الكهربائية وأيضا اختلاف في قيمة التوصيلية الكهربائية للعظم الجاف والمبلل [2] [3] .

ونسلط الضوء في دراستنا هذه على حساب قيمة التوصيلة الكهربائية من نتائج تم قياسها عملياً لعينة من عظام الضفدع ومقارنتها بقيم التوصيلية الكهربائية لعظام الأنسان لدراسة **Saha Williams** وآخرون (1995) و **Dell Osa,al** وآخرون (2019) عند ترددات **50Hz, 100Hz** و **$10^7$Hz**.

استلمت الورقة بتاريخ 15 أكتوبر 2019، وروجعت بتاريخ 08 يناير 2020، وقبلت للنشر بتاريخ 09 يناير 2020
ونشرت ومتاحة على الانترنت بتاريخ 14 يناير 2020 www.lam.edu.ly

**أهداف الدراسة Aims**

تهدف هذه الدراسة إلى حساب قيمة التوصيلية الكهربائية لعظام الضفدع بالنظر إلى قدرته على اعادة انماء الأعضاء ونجاح تسليط تأثير هول على تسريع عملية نمو البتر في الضفدع, عليه نقارن قيم التوصيلية الكهربائية لعظام الضفدع عند تردد **50Hz** بقيم التوصيلية الكهربائية لعظم الأنسان عند ترددات **100Hz** و **$10^7$Hz** .

**المقاومة النوعية والتوصيلية الكهربائية**

تعرف المقاومة النوعية بانها النسبة بين المجال الكهربائي المتولد في المادة **E** و كثافة التيار الكهربائي المار **J**, وتقاس بوحدة **Ω.m**. وهي قيمة المقاومة الكهربائية لوحدة الطول من المادة وتعتمد على نوع المادة.

وتتأثر المقاومة النوعية بدرجة الحرارة حيث تقل ضمن حدود درجات الحرارة المنخفضة بالنسبة الى الموصلات الجيدة, وذلك نتيجة اهتزاز الشبيكة البلورية للمادة, وهذا يؤدي الى زيادة احتمالية اعاقة حركة الالكترونات الحرة المتحركة من قبل ايونات الذرات فتحيد عن مسارها الأول, وقد تصطدم مع أيونات ذرات أخرى, وهكذا فهذا يؤدي الى زيادة مقاومة المادة لحركة الشحنات في المادة, أما في أشباه الموصلات فيحصل العكس أي أن المقاومة تقل بزيادة درجة الحرارة, وكذلك المقاومة النوعية للمادة, وترتبط المقاومة بدرجة الحرارة بالعلاقة التالية:

$$R_0\,(1+\alpha(T-T_0))=R_T$$

حيث $R_0$ المقاومة النوعية في درجة حرارة الصفر أو درجة حرارة الغرفة, $R_T$ المقاومة النوعية في درجة الحرارة $T$, $T_0$ درجة حرارة الصفر المئوي أو درجة حرارة الغرفة, $\alpha$ معامل التوصيل الحراري.

وبمعرفة العلاقة بين المقاومة النوعية ρ والمقاومة الكهربائية **R** للمادة وهي :-

$$\rho=R(A/L)$$

حيث **A** مساحة المقطع الذي يمر به التيار من المادة, و**L** طول العينة من المادة.

وبذلك يمكن الربط بين المقاومة النوعية ρ و درجة الحرارة بالعلاقة التالية:-

$$\rho_0\,(1+\alpha(T-T_0))=\rho_T$$

حيث $\rho_0$ المقاومة النوعية في درجة حرارة الصفر أو درجة حرارة الغرفة, $\rho_T$ المقاومة النوعية في درجة الحرارة $T$.

وتعرف التوصيلية الكهربائية بأنها مقلوب المقاومة النوعية وتمثل قياس لقدرة المادة على توصيل التيار الكهربائي, وتعطى الرمز σ , وتقاس بوحدة $\Omega^{-1}.m^{-1}$ أو $s.m^{-1}$ , حيث **s** هي مقلوب الأوم **Ω**.

$$\sigma=1/\rho \quad (\Omega^{-1}.m^{-1})$$

**اعداد العينة**

تم اختيار عينة ( جافة بعد التشريح ) من ساق الضفدع الأمامي باختيارها بشكل شبه اسطواني بأبعاد ( قطر: **1.5mm** , الطول : **1.8cm** ), تم تثبيتها على لوح خشبي بغرض اعدادها للإدخال في جهاز هول, ثم تم قياس سمك العينة, درجة حرارة الابتدائية, المقاومة الكهربائية للعينة, وقيمة المجال المغناطيسي قبل البدأ في العمل.

**النتائج والمناقشة**

تم في هذه الدراسة تطبيق تأثير هول على عينة من عظام ضفدع بعد عملية تشريح واعداد العينة ثم تثبيتها في وحدة هول وامرار تيار كهربائي (**1.6A**) و فرق جهد كهربائي (**8V**) من المصدر, وقياس سمك العينة **t** و شدة المجال المغناطيسي المسلط **B**, والمقاومة في درجة حرارة الغرفة $\mathbf{R_0}$, كانت القياسات كالتالي :-

$$R_{_0} = 1.8 \times 10^6 \Omega$$

$$B = 3.2mT$$

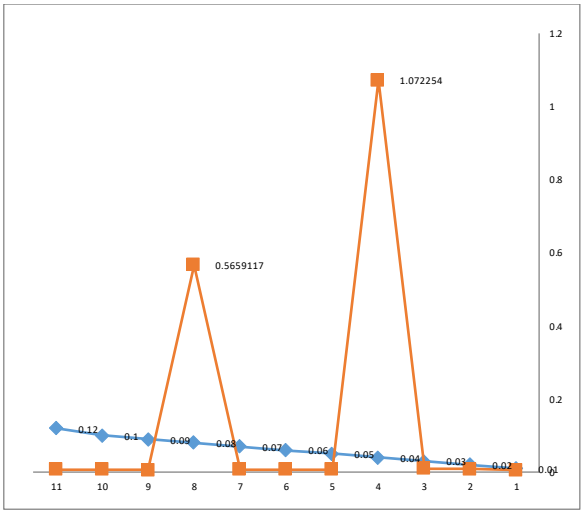
وتم الحصول على النتائج المبينة في الجدول (1) التالي:-

**جدول (1) يبين قيمة المقاومة النوعية والتوصيلية الكهربائية لعظم الضفدع**

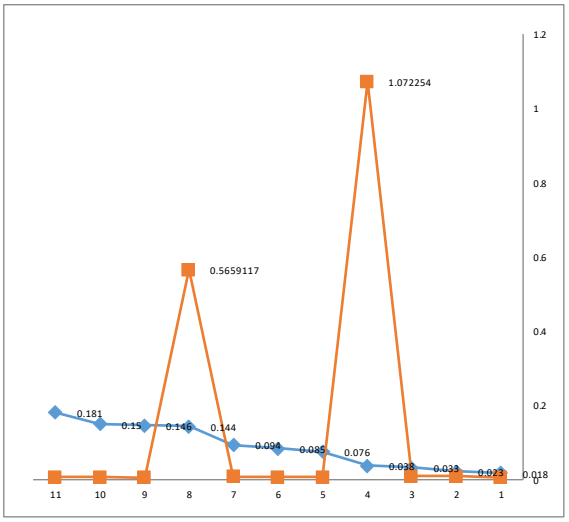
| V(v) | R (Ω) | ρ (Ω.m) | σ ($\Omega^{-1}.m^{-1}$) |
|---|---|---|---|
| 0.018 | **1.8x10⁶** | 1.7671**x10²** | **0.005659** |
| 0.023 | 1.15**x10⁶** | **55**1.1289**x10²** | 0.0088774 |
| 0.033 | 1.1**x10⁶** | 1.07987**x10²** | 0.009260 |
| 0.038 | 0.95**x10⁶** | **0.932615x10²** | 1.072254 |
| 0.076 | 1.52**x10⁶** | 1.492184**x10²** | 0.006701 |
| 0.085 | 1.427**x10⁶** | 1.4008859**x10²** | 0.007138 |
| 0.194 | 1.343**x10⁶** | 1.3184231**x10²** | 0.0075848 |
| 0.144 | 1.8**x10⁶** | 1.76706**x10²** | 0.5659117 |
| 0.146 | 1.62**x10⁶** | 1.590354**x10²** | 0.0062879 |
| 0.150 | 1.5**x10⁶** | 1.47255**x10²** | 0.0067909 |
| 0.181 | **1.5083x10⁶** | 1.48069811**x10²** | 0.0067536 |

نلاحظ من الجدول (1) أن قيمة المقاومة النوعية لا تعتمد على قيم الزيادة في فرق جهد هول في العظم وإنما هي تقل بعد كل فترة زمنية بمعنى أنها تعتمد على الزمن و التردد فعند استخدام تردد (**50Hz**) كانت أقل قيمة للمقاومة النوعية في عظم الضفدع هي (**Ω.m 0.932615x10²**) وتقابلها في النتائج أعلى قيمة للتوصيلية الكهربائية ( **1.072254 $\Omega^{-1}.m^{-1}$**) وهذا ما أشارت اليه دراسة (2019) لـ **A.H.Dell'Osa** وآخرون حول زيادة قيمة التوصيلية الكهربائية مع الزمن .

والشكل (1) والشكل (2) تبين قيم التوصيلية الكهربائية المتحصل عليها في عينة عظم الضفدع بالنسبة لفرق جهد هول في العينة.




**الشكل (1) شكل يوضح التغير في قيمة التوصيلية الكهربائية مقارنة بالزيادة في التيار الكهربائي المار بالعينة**




**الشكل (2) شكل يوضح التغير في قيمة التوصيلية الكهربائية مقارنة بالزيادة في جهد هول المتولد بالعينة**

ونلاحظ من الشكل (1) و الشكل (2) أن قيم التوصيلية كدالة في التيار الكهربائي و الجهد الكهربائي حيث وجد أنها تمثل قيم عظمى بعد كل فترة زمنية, مع وجود نقصان في القيمة المتحصل عليها ويعزي ذلك لكون العظم الذي تم العمل عليه جاف حيث أكدت دراسات سابقة وجود زيادة في قيم التوصيلية الكهربائية في العظم المبلل **(wet)** عنه في العظم الجاف وأيضا يمكننا الحصول على قيمة توصيلية أعلى في العظم بشكل عام بزيادة قيم التردد المستخدم على العينة, حيث نلاحظ في الجدول (2) أن قيمة التوصيلية الكهربائية في عظم الضفدع الجاف عند تردد **50Hz** كانت أعلى منها في عظم الأنسان الجاف و المبلل **(wet)** عند قيم تردد **100Hz** و **$10^7$Hz**مع ملاحظة زيادة قيمة التوصيلية في العظم بزيادة قيمة التردد وأيضا التوصيلية للعظم المبلل كانت أعلى منها للعظم الجاف.

**جدول (2) مقارنة قيم التوصيلية الكهربائية لعظم الضفدع وعظم الانسان**

| نوع العظم | ضفدع(جاف) S.aldenfaria 2019 | انسان(dry) Saha Williams 1995 | انسان(wet) Dell;Osa,al 2019 | انسان(dry) Saha Williams 1995 | انسان(wet) Dell;Osa,al 2019 |
|---|---|---|---|---|---|
| التردد Hz | 50Hz | 100Hz | 100Hz | $10^7$Hz | $10^7$Hz |
| التوصيلية $\Omega^{-1}.m^{-1}$ | 0.154838 | 0.05952 | 0.05988 | 0.076923 | 0.08 |

وكانت قيمة التوصيلية في عظم الانسان الجاف عند تردد **$10^7$Hz** أقل بنسبة 49.68% بالنسبة لعظم الضفدع الجاف عند تردد **50Hz** , أي بفرق (**0.074838 $\Omega^{-1}.m^{-}$**) أي بحدود نصف القيمة, وهذه النسبة إذا كانت تعتبركبيرة كفرق بين قيمة التوصيلية بين العظمين غير ان استجابة عظم الانسان لزيادة التوصيلية الكهربائية عند زيادة قيمة التردد يعطي الأمل بامكانية الوصول إلي قيم توصيلية كهربائية مناسبة لعملية اعادة نمو الأعضاء عند ترددات عالية, حيث كانت قيمة التوصيلية الكهربائية في عظم الانسان الجاف حسب دراسة **AH Dell'Osa** (2019) عند تردد **$10^7$Hz** تصل إلى (**$\Omega^{-1}.m^{-}$** 0.08) تقريباً 0.1 وهي قيمة تعتبر جيدة كاستجابة في قيمة التوصيلية المتحصل عليها في نتائجنا لعظم الضفدع الجاف عند تردد **50Hz** وهي كما مبينة في الجدول (**$\Omega^{-1}.m^{-1}$** 0.154838 ), حيث نجد أن قيمة التوصيلية في عظم الانسان الجاف كانت (**0.05953 $\Omega^{-1}.m^{-}$** )

و لعظم الانسان المبلل كانت (**0.05988 $\Omega^{-1}.m^{-}$**) وذلك عند تردد (**100Hz**) حيث زادت بنسبة (**74%**) أي بحدود (**0.0205 $\Omega^{-1}.m^{-}$** ) وهي زيادة جيدة, وهذه النقطة مازالت بحاجة إلى اعادة الدراسة للعظام عند ترددات عالية لمعرفة التردد الحرج للعظم الذي نتوقع أن يكون عند ترددات عالية.

كما تؤكد هذه النتائج على وجود زيادة في التوصيلية الكهربائية في العظم وعلاقتها بالزمن, مما يعني أن ناقلات الشحنة تسير على شكل دفعات متناوبة بالنسبة للزمن فيؤدي ذلك إلي زيادة قيمة التوصيلية الكهربائية بعد كل فترة زمنية كما أكدت دراسة **A H Dell'Osa** وآخرون على زيادة قيمة التوصيلية الكهربائية بالنسبة للزمن. ونلخص من هذه الدراسة إلى امكانية استخدام الخواص الفيزيائية للعظام للمساهمة في دراسات مستقبلية حول اعادة انماء الاعضاء في الكائنات التي تفقد هذه الميزة, وكذلك امكانية استخدام عظام الضفدع لتصنيع ترانستورات عضوية جيدة لكونها مواد في العظام بزيادة التردد وهذا ما أشارت إليه عدة دراسات سابقة, كما أشار**J. Sierpowska** وآخرون و **Saha Williams**وآخرون إلى زيادة بنسبة جيدة للتوصيلية الكهربائية للعظام بشكل عام جاف أو مبلل.

## المراجع


1. Robert O.becker, M.D., and gray selden, The body electric electromagnetism and the foundation of life, William Morrow Paperbacks, first edition (July 22, 1998).
2. , J. Sierpowska, M.J. Lammib, M.A. Hakulinen, J.S. Jurvelin, R. Lappalainen, J. T¨oyr¨as, Effect of human trabecular bone composition on its electrical properties, Medical Engineering & Physics 29 (2007) 845–852.
3. Bioimpedance and Bone Fracture Detection: A State of the Art, A H Dell'Osa, C J Felice.,and F Simini, Preprints (www.preprints.org),not peer-reviewed, posted: 3 May 2019.
4. Birendra Singh, Niyazi Serdar Sariciftci, James G. Grote, and Frank K. Hopkins, Bio-organic-semiconductor-field-effect-transistor based on deoxyribonucleic acid gate dielectric, Journal of Applied Physics 100, 024514 (2006)
5. Kevin Murphy, Regeneration of a Human Finger, Biomedical Engineering, BME 281 First Presentation, November 7, 201
6. Subrata Saha,, and Paul Allen Williams, Electric and Dielectric Properties of Wet Human Cortical Bone as a Function of Frequency. IEEE transactions on biomedical engineering, VOL.39,NO.12.December 1992.
7. Subrata Saha and Paul Allen Williams, Comparison of the Electrical and Dielectric Behavior of Wet Human Cortical and Cancellous Bone Tissue from the Distal Tibia, Journal of Orthopaedic Research, J Orthop Res, Vol. 13, No. 4, 1995