

# حساب التوصيلية الكهربائية في عظام الضفدع

شافية علي الدنفرية

[sci.misuratau.edu.ly@s.aldenfaria](mailto:sci.misuratau.edu.ly@s.aldenfaria)

قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة مصراتة

## المخلص 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 إعادة النمو من جديد في حالات البتر وغيرها كالبحت عن تصنيع مواد شبه موصلة عضوية، ونسلط الدراسة في هذا البحث على حساب قيمة التوصيلية الكهربائية في عظام الضفدع لكون التجارب أثبتت قدرته على إعادة نمو الأعضاء المبتورة واستجابته للتأثير بالمجال الكهربائي والمغناطيسي، ونقارن هذه النتائج بقيمة التوصيلية الكهربائية تم حسابها عملياً لعظم الإنسان وذلك عند ترددات 100Hz، 50Hz، و10<sup>7</sup>Hz.

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

## المقدمة Introduction

يعود تاريخ اكتشاف الكهرباء الحيوية في الكائنات الحية للعالم الإيطالي 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 أنها تساعد في شفاء الكسور في العظام وإعادة نمو الأعضاء في الكائنات التي تملك القدرة على إعادة النمو<sup>[1]</sup>.

ويعمل العلماء حديثاً على دراسة التأثير الكهربائي للعظام لعدة أغراض علمية منها جراحي بحث ومنها ما يبحث في تحسين شفاء الكسور بالتأثير الكهربائي والمغناطيسي بتسليط مجال مغناطيسي على العظم، وهناك أبحاث حديثة لتصنيع مواد شبه موصلة عضوية بمواصفات معينة واستخدامها في تصنيع ترانزستورات عضوية كدراسة Birendra Singh وآخرون (2006)<sup>[4]</sup>، ومنها ما يدرس تأثير هول على إعادة نمو الأعضاء في الكائنات التي تملك القدرة على إعادة نمو الأعضاء كحيوان السمندل، نجم البحر، والصفدع<sup>[1]</sup>.

واكتشف بالمصادفة في أحد المستشفيات في الولايات المتحدة وجود إعادة نمو في حالة بتر طرف الأصبع فوق السلمية للأطفال دون سن 11 سنة<sup>[1]</sup>، كم نجح علماء آخرون في إعادة نمو طرف الأصبع لشخص بالغ<sup>[5]</sup>، وهذا يعطي أمل كبير في إمكانية النجاح في إعادة النمو في جسم الإنسان مستقبلاً.

كما أثبتت الدراسات وجود تأثير للتردد في بعض الخواص الفيزيائية كالتوصيلية الكهربائية وأيضاً اختلاف في قيمة التوصيلية الكهربائية للعظم الجاف والمبلل<sup>[2]</sup> [3].

ونسلط الضوء في دراستنا هذه على حساب قيمة التوصيلية الكهربائية من نتائج تم قياسها عملياً لعينة من عظام الضفدع ومقارنتها بقيم التوصيلية الكهربائية لعظام الإنسان لدراسة Saha Williams وآخرون (1995) و Dell Osa,al وآخرون (2019) عند ترددات 100Hz، 50Hz، و10<sup>7</sup>Hz.

استلمت الورقة بتاريخ 15 أكتوبر 2019، وروجعت بتاريخ 08 يناير 2020، وقبلت للنشر بتاريخ 09 يناير 2020

[www.lam.edu.ly](http://www.lam.edu.ly)

ونشرت ومتاحة على الانترنت بتاريخ 14 يناير 2020

### أهداف الدراسة Aims

تهدف هذه الدراسة إلى حساب قيمة التوصيلية الكهربائية لعظام الضفدع بالنظر إلى قدرته على إعادة انماء الأعضاء ونجاح تسليط تأثير هول على تسريع عملية نمو البتر في الضفدع، عليه نقارن قيم التوصيلية الكهربائية لعظام الضفدع عند تردد  $50\text{Hz}$  بقيم التوصيلية الكهربائية لعظم الإنسان عند ترددات  $100\text{Hz}$  و  $10^7\text{Hz}$ .

### المقاومة النوعية والتوصيلية الكهربائية

تعرف المقاومة النوعية بانها النسبة بين المجال الكهربائي المتولد في المادة  $E$  و كثافة التيار الكهربائي  $J$ ، وتقاس بوحدة  $\Omega.m$ . 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 الشبكة البلورية للمادة، وهذا يؤدي الى زيادة احتمالية اعاقه حركة الالكترونات الحرة المتحركة من قبل ايونات الذرات فتحد 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  $\rho$  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  $\rho$  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  $\sigma$ ، وتقاس بوحدة  $\Omega^{-1}.m^{-1}$  أو  $s.m^{-1}$ ، حيث  $s$  هي مقلوب الأوم  $\Omega$ .

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

### اعداد العينة

تم اختيار عينة ( جافة بعد التشريح ) من ساق الضفدع الأمامي باختيارها بشكل شبه اسطواني بأبعاد ( قطر:  $1.5\text{mm}$  ، الطول :  $1.8\text{cm}$  )، 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 البدء 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 ( $1.6\text{A}$ ) و فرق جهد كهربائي ( $8\text{V}$ ) من المصدر، وقياس سمك العينة  $t$  و شدة المجال المغناطيسي المسلط  $B$ ، والمقاومة في درجة حرارة الغرفة  $R_0$ ، كانت القياسات كالتالي :-

$$R_0 = 1.8 \times 10^6 \Omega$$

$$B = 3.2\text{mT}$$

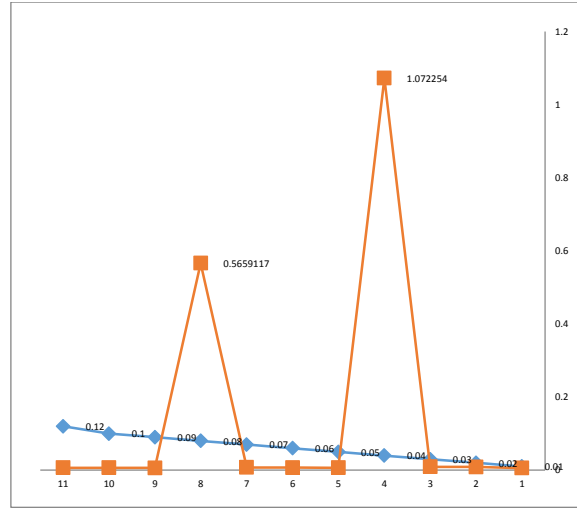
وتم الحصول على النتائج المبينة في الجدول (1) التالي:-

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

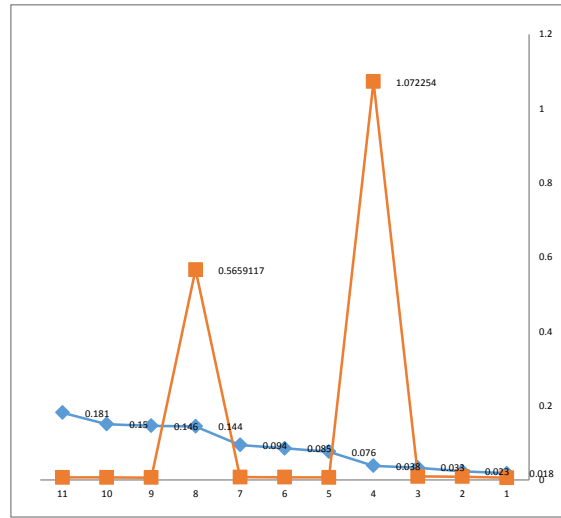
V(v)	R ( $\Omega$ )	$\rho$ ( $\Omega.m$ )	$\sigma$ ( $\Omega^{-1}.m^{-1}$ )
0.018	$1.8 \times 10^6$	$1.7671 \times 10^2$	<b>0.005659</b>
0.023	$1.15 \times 10^6$	$551.1289 \times 10^2$	0.0088774
0.033	$1.1 \times 10^6$	$1.07987 \times 10^2$	0.009260
0.038	$0.95 \times 10^6$	<b><math>0.932615 \times 10^2</math></b>	1.072254
0.076	$1.52 \times 10^6$	$1.492184 \times 10^2$	0.006701
0.085	$1.427 \times 10^6$	$1.4008859 \times 10^2$	0.007138
0.194	$1.343 \times 10^6$	$1.3184231 \times 10^2$	0.0075848
0.144	$1.8 \times 10^6$	$1.76706 \times 10^2$	0.5659117
0.146	$1.62 \times 10^6$	$1.590354 \times 10^2$	0.0062879
0.150	$1.5 \times 10^6$	$1.47255 \times 10^2$	0.0067909
0.181	<b><math>1.5083 \times 10^6</math></b>	$1.48069811 \times 10^2$	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 ( $50\text{Hz}$ ) كانت أقل قيمة للمقاومة النوعية في عظم الضفدع هي ( $0.932615 \times 10^2 \Omega.m$ ) 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  
المرار بالعيونة



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

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<sup>7</sup>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

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

وكانت قيمة التوصيلية في عظم الانسان الجاف عند تردد 10<sup>7</sup>Hz أقل بنسبة 49.68% بالنسبة لعظم الضفدع الجاف عند تردد 50Hz ، أي بفرق ( $0.074838 \Omega^{-1}.m^{-1}$ ) أي بحدود نصف القيمة، وهذه النسبة إذا كانت تعتبر كبيرة كفرق بين قيمة التوصيلية بين العظمين غير ان استجابة عظم الانسان لزيادة التوصيلية الكهربائية عند زيادة قيمة التردد يعطي الأمل بإمكانية 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<sup>7</sup>Hz تصل إلى ( $\Omega^{-1}.m^{-1}$ ) 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 ( $0.154838 \Omega^{-1}.m^{-1}$ )، حيث نجد أن قيمة التوصيلية في عظم الانسان الجاف كانت ( $0.05953 \Omega^{-1}.m^{-1}$ )

و لعظم الانسان المبلل كانت ( $0.05988 \Omega^{-1}.m^{-1}$ ) وذلك عند تردد (100Hz) حيث زادت بنسبة (74%) أي بحدود ( $0.0205 \Omega^{-1}.m^{-1}$ ) 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 إمكانية استخدام الخواص الفيزيائية للعظام للمساهمة في دراسات مستقبلية حول اعادة انماء الاعضاء في الكائنات التي تفقد هذه الميزة، وكذلك إمكانية 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. Töyräs, 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](http://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