

Design of Mechanical Multi-Sensor for Contaminated Water Filter Applications

تصميم متحسس ميكانيكي متعدد التطبيقات في تصفية الماء الملوث

Asma Hadi Muhammad¹, Marwa Abdul Mohsen Hassan *¹, Asma Abd al-Sattar Abdul-Razzaq¹, Wahab Basem Mahdi¹, Nizar Khalaf Mahan¹

¹ Al-Mustansiriya University, College of Science, Department of Physics, Baghdad, Iraq.

Email: marwamedicalphysics@gmail.com

Abstract

In this research, a multipurpose mechanical sensor is designed to filter contaminated water. The study included the study of the effect of salts, soil and microorganisms such as Escherichia coli (E. Coli) bacteria present in the water sample on the electromagnetic properties. The electromagnetic signal can be obtained by using a transformer that transmits mechanical waves through a cell containing (pure water, water contaminated with salt, soil and bacteria respectively) and then using receptors that capture the resulting signal. The study also included the preparation of nanomaterials of silver and carbon in the form of membranes prepared in various ways such as laser and chemical methods and then used as detectors for pollutants and killer of bacteria. The operating frequency range used in this research ranges from (400 KHz-50 MHz). Tests in this research included recording the resonant frequency at the first rank of all prepared samples. The results showed that the highest resonant frequency value was (30 MHz) in the presence of bacteria in the sample and it was observed that the damping factor stabilized in the last three cases of (silver-piezoelectric crystal, carbon-piezoelectric crystal and silver: carbon-piezoelectric crystal).

Keywords: mechanical sensor, silver: carbon, damping factor.

المخلص

في هذا البحث، تم تصميم متحسس ميكانيكي متعدد الأغراض لتصفية المياه الملوثة. حيث تضمن البحث دراسة تأثير الاملاح والتربة والاحياء المجهرية كالبكتيريا Escherichia coli (E. Coli) bacteria المتواجدة في عينة الماء على الخصائص الكهرواجهادية. أن الإشارة الكهرواجهادية يمكن الحصول عليها عن طريق استخدام محول يقوم بنقل الموجات الميكانيكية خلال خلية تحتوي على (الماء النقي، والماء الملوث بالأملاح والتربة والبكتيريا على التوالي) ومن ثم استخدام مستقبلات تلتقط الإشارة الناتجة. كما تضمنت الدراسة تحضير مواد نانوية من الفضة والكربون على شكل اغشية محضرة بطرق مختلفة كالليزر وطرق كيميائية ومن ثم توظيفها كمواد كاشفة للملوثات وقاتلة للبكتيريا. أما مدى ترددات التشغيل المستخدمة في هذا البحث فتتراوح بين (400 KHz - 50 MHz). وقد شملت الفحوصات في هذا البحث تسجيل التردد الرنيني عند المرتبة الأولى لجميع العينات المحضرة. وقد أظهرت النتائج أن أعلى قيمة للتردد الرنيني كانت (30 MHz) في حالة وجود البكتيريا في العينة وتم ملاحظة ان عامل التخمد اخذ بالاستقرار عند الحالات الثلاث الاخيرة لكل من (الفضة- بلورة الاجهادي، الكربون- بلورة الاجهادية، والفضة: كربون- بلورة الاجهادية).

الكلمات المفتاحية: متحسس ميكانيكي، فضة: كربون، عامل التخمد.

1. المقدمة

المتحسس الكهروإجهادي (الكهروضغطي) piezoelectric sensor: يعتمد هذا المتحسس على توليد قوة محرّكة كهربائية في عنصر بلوري، حيث تتمتع البلورات بخاصية تجعلها تأخذ قطبية كهربائية نتيجة لتطبيق إجهاد ميكانيكي موجه على نحو مناسب لمحاور هذه البلورات، ومن خلال التجارب تبين أن الشحنة الكهربائية الناتجة من تلك البلورات تتناسب مع القوة الميكانيكية المتولدة فيها وحسب العلاقة الآتية: [1-10]

$$Q = K \cdot F$$

حيث:

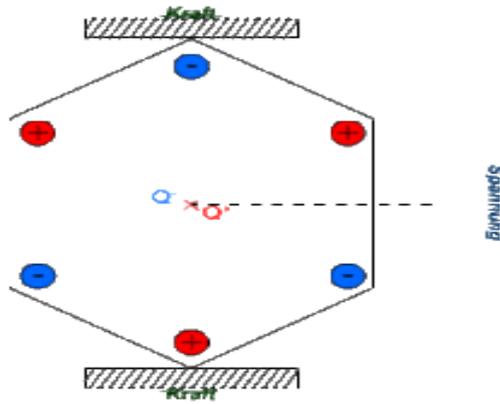
Q: الشحنة الكهربائية التي تظهر على سطح البلورة.

K: معامل الكهروإجهادي.

F: القوة الميكانيكية المتولدة على السطحين المتقابلين للبلورة.

يستخدم هذا المبدأ على نحو كبير في متحسسات قياس الضغط والتسارع. وتتصف متحسسات الكهروإجهادية بسرعة استجابة عالية وإمكانية العمل ضمن مجال حراري مرتفع، ومن مميزات أنها تتطلب دوائر كهربائية معقدة نسبياً لاستلام الإشارة الناتجة من المتحسس [3-4]. ان مبدأ عمل الكهرواجهادي استخدم منذ زمن قديم في اجهزة الاتصال والساعات والقداحات اليدوية حيث يمكن توليد الكهرباء في الاخيرة جراء الضغط المباشر على بعض المواد مثل الكوارتز لتوليد فرق جهد بين طرفي البلورة ناتجا عنه تيار كهربائي بسيط ، كما يمكن الحصول على نفس النتيجة من خلال تسليط حرارة

ينتج عنها تمدد لتلك البلورات بحيث يتغير حجمها ليتولد عنها جهدا كافيا لتوليد تيار كهربائي [6-5]. ان خاصية الكهرواجهادي متوفرة في بعض المواد وخصوصا البلورات مثل الكوارتز وبعض المواد السيراميكية بما فيها العظم حيث يمكن توليد الكهرباء منها كاستجابة للضغط الميكانيكي عليها. فعند الضغط على المادة تتقارب فيها بعض الشحنات الكهربائية مما يولد على طرفيها جهدا كهربائيا. وبالعكس عند تعرض تلك المواد لجهد كهربائي يتولد فيها إجهاد ميكانيكي قد يؤدي الى تمدد أو انكماش لتلك المواد [8-7]. ان قيمة الجهد الكهربائي الناتج من طرفي البلورة يتوقف على مقدار الضغط المسلط، بينما يتوقف تردد وشكل الموجة الكهربائية الناتجة على عدد الضغوطات أو الاهتزازات الحاصلة في زمن معين وأيضا على مقدار هذا الضغط وطبيعته. حيث انه إذا ما تم الضغط على سطح المادة بقوة فان استقطاباً للشحنات الكهربائية يحدث عبر الشبكة البلورية للمادة و تكون موزعة بشكل متناظر، بحيث تكون الشبكة البلورية بشكل عام متعادلة كهربائيا ، و نتيجة لهذا الاستقطاب للشحنات ينتج فرق جهد كهربائيين طرفي المادة [10-9]. يشكل كل من هذه الأطراف أقطاب كهربائي، وعادة تميل ثنائيات الأقطاب القريبة من بعضها البعض إلى أن تكون متسقة في مناطق تدعى "مجالات فايس Weiss domains" تكون هذه المجالات عادة موجهة عشوائيا كما مبين في الشكل (1).



الشكل رقم (1): كهربائية انضغاطية ناتجة عن ضغط ميكانيكي ناتج عن استقطاب الشحنات موجبة (Q^+) ولشحنات سالبة (Q^-) في المادة وبالتالي ينشأ جهد كهربائي في البلورة.

يتم استخدام المواد الكهروضغطية كمحول لتحويل الطاقة الكهربائية إلى ميكانيكية والعكس صحيح. ومن الاستخدامات الأولية للسيراميك الكهروضغطي هي في أجهزة السونار حيث يتم الكشف عن الأجسام التي تحت الماء وفي الغواصات (يتم تحديد موقع الغواصة باستخدام نظام إرسال واستقبال ذبذبات فوق الصوتية حيث تهتز أو تتذبذب البلورة الكهروضغطية عن طريق إشارة كهربائية تنتج عنها اهتزازات ميكانيكية ذات ترددات عالية والتي تنتقل بدورها خلال المياه. وعند اصطدام هذه الموجات المتذبذبة بأي جسم يحدث لها انعكاس ويتم إستقبالها عن طريق مادة كهروضغطية

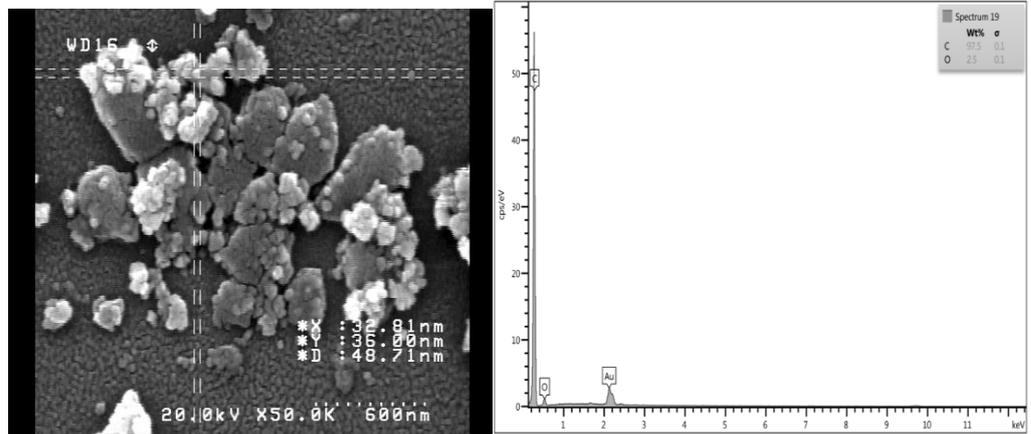
أخرى التي بدورها تقوم بتحويل الإشارة إلى إشارة كهربائية مرة أخرى. وبالتالي يتم تحديد المسافة بين مصدر الموجات فوق صوتية وهذا الجسم عن طريق حساب الوقت المستغرق منذ لحظة إرسال الإشارة وإستقبالها) [11- 12].

2. الجانب العملي والمواد

- (1) تحضير نماذج من الماء الملوث ودراسة تأثير التلوث بالأملاح والتربة والبكتيريا على الخصائص الكهرواجهادية للماء النقي والملوث.
- (2) استخدام كل من الفضة النانوية وجسيمات الكربون النانوية المحضرة مختبرياً بطرق مختلفة كمواد كاشفة وقاتلة للبكتيريا الملوثة للماء.
- (3) استخدام النماذج أو تطويرها للعمل كمتحسسات كهرواجهادية ذات مواصفات تضاهي المنتج الأجنبي المستورد.

تحضير جسيمات الكربون النانوية:

تم تحضير جسيمات الكربون النانوية بواسطة تقنية الاستئصال بالليزر في سائل الميثانول حيث تم استخدام قضيب من الكرافت ذو نقاوة عالية تصل الى 99.9%. ثم تم استخدام ليزر نوع Nd: YAG laser ($\lambda=1064$ nm, 1HZ) وذلك من خلال قصف هدف الكرافت المغطس بمحلول الميثانول وكانت عدد النبضات بحدود 150 نبضة والشكل التالي (شكل رقم (2)) يبين التحليل الكيميائي لجسيمات الكربون النانوية المحضرة بتقنية الاستئصال بالليزر.



شكل رقم (2): يبين التحليل الكيميائي لجسيمات الكربون النانوية المحضرة بتقنية الاستئصال بالليزر.

تحضير الفضة النانوية:

تحضير الفضة النانوية متناهية الصغر بشكل nanowire باستخدام طريقة الضغط-الحراري (Hydrothermal). تتضمن الطريقة استخدام 50 ml من محلول نترات الفضة المائي وبوليمر (PVP) بعد تذويبه في الماء المقطر مع التحريك المستمر لمدة 30 دقيقة في دورق زجاجي في درجة حرارة الغرفة (يستمر بالتحريك حتى يصبح الخليط شفاف) بعد ذلك

يتم نقل المحلول الشفاف الى الخلية وتوضع في فرن بدرجة حرارة 180 oC لمدة ستة ساعات. بعد انتهاء التفاعل يترك الناتج ليبرد الى درجة حرارة الغرفة ويغسل الفضة النانوية بكحول الايثانول والماء المقطر ويجفف تماماً.

مواصفات البلورة الاجهادية المستخدمة في تجربة المتحسس الكهرواجهادية:

A standard two piezo-crystals (Model number: 3B12+9.0EAWC, Type: Piezoelectric Ceramics, Material: Piezo-ceramics, Metal type: Brass, Electrode form: (Thin) Diode, Connection terminal: Soldier wire or not, Parameter value: (D=12mm, T=0.15mm and f=9 kHz)) located tightly on the copper foil as shown in figure (3).

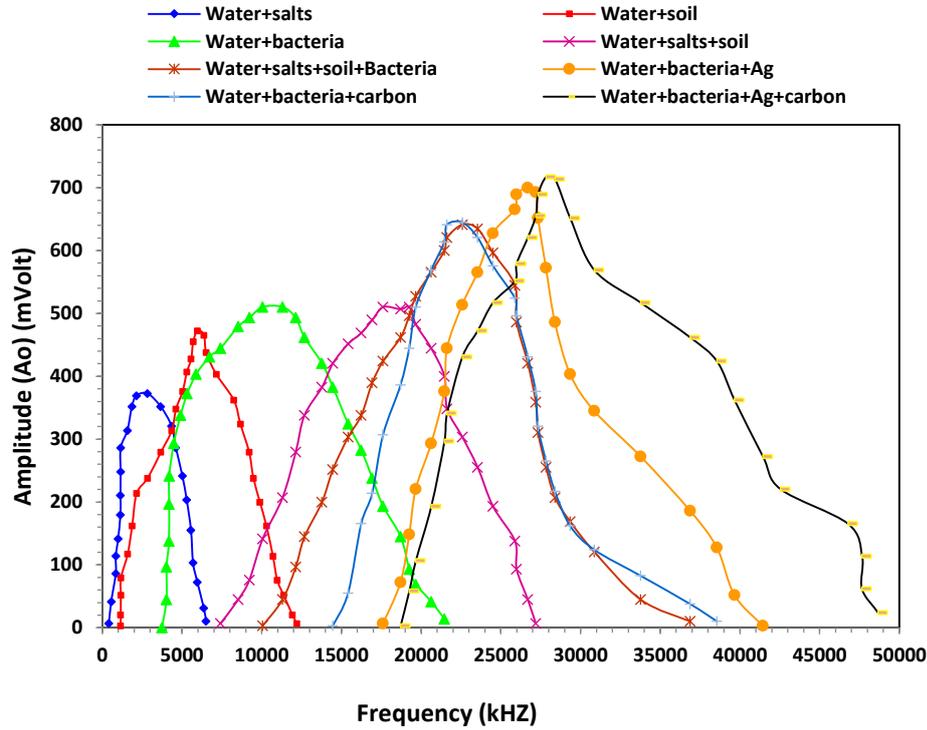


شكل رقم (3): يوضح اجزاء التجربة المستخدمة في العمل.

3. النتائج والمناقشة

تم الحصول على الاشارة الكهرو جهادية عن طريق استخدام محول يقوم بنقل الموجات الميكانيكية خلال خلية تحتوي على (الماء النقي، والماء الملوث بالأملاح والتربة والبكتيريا على التوالي) ومن ثم استخدام مستقبليات تلتقط الإشارة الناتجة.

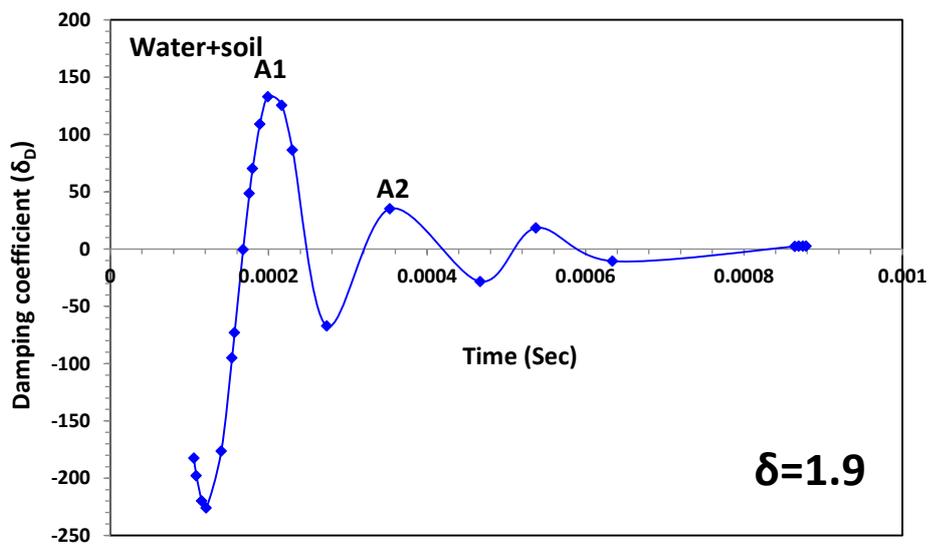
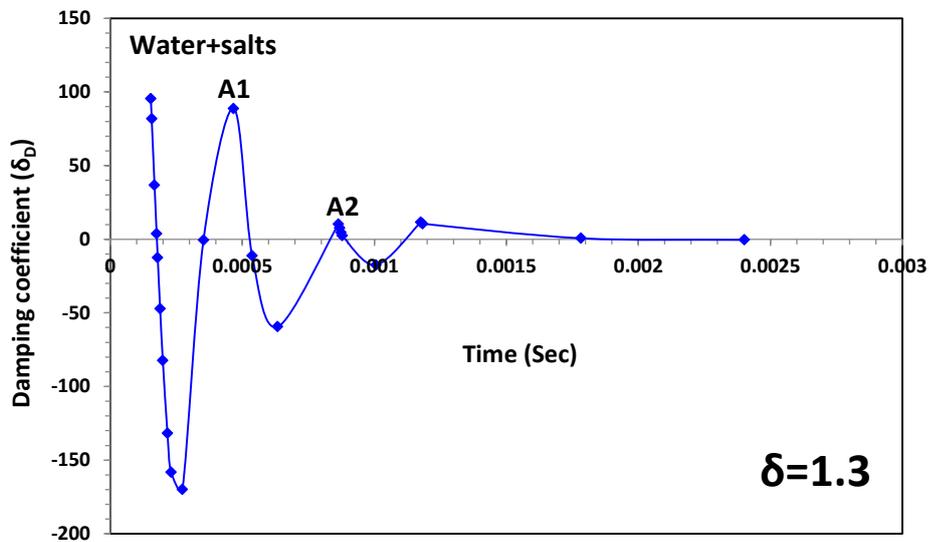
ومن خلال قياس التردد الرنيني كدالة لسعة الموجة عند حالات تلوث الماء بالأملاح والتربة والبكتيريا على التوالي فان الازاحة (shift) التي تحدث للإشارة المرسله والاشارة المستلمة من الماء الملوث بالحالات الثلاث اعلاه تكون ضمن مدى الترددات الواقعة بين 400-1000 kHz كدالة لسعة الموجة (Amplitude (Ao) (mVolt). في حين تستقر الإشارة ضمن مدى الترددات الواقعة 15000-25000 kHz في حالة الماء الملوث بالأملاح والتربة والبكتيريا معاً. ان هذا السلوك يمكن فهمه من خلال عمل معايرة للمتحسس تمكننا من الكشف عن حالة الماء الملوث وفقاً للإزاحة الحاصلة للإشارة المرسله والاشارة المستلمة من قبل خلية الكوارتز (الوسط الذي يحتوي على الماء بجميع حالاته سواء كان نقي او ملوث) كما مبين في الشكل رقم (4).

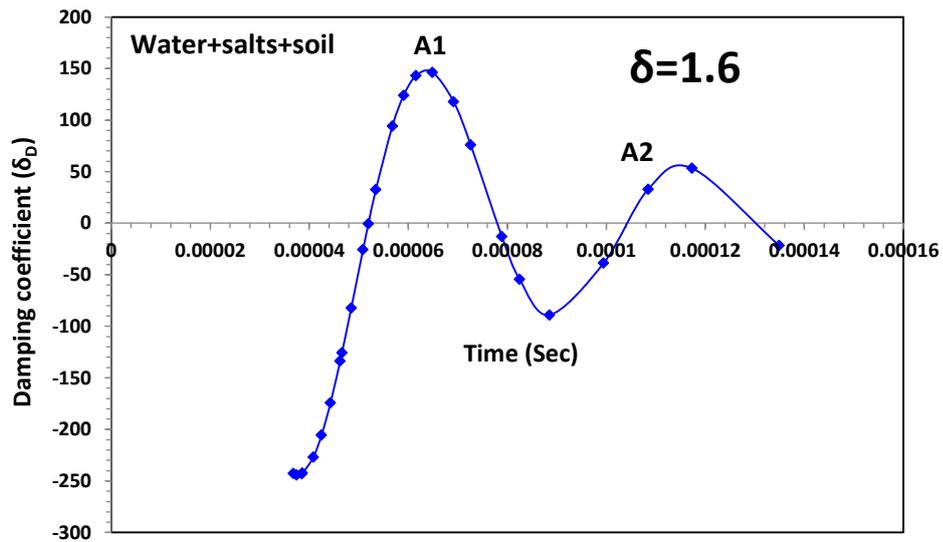
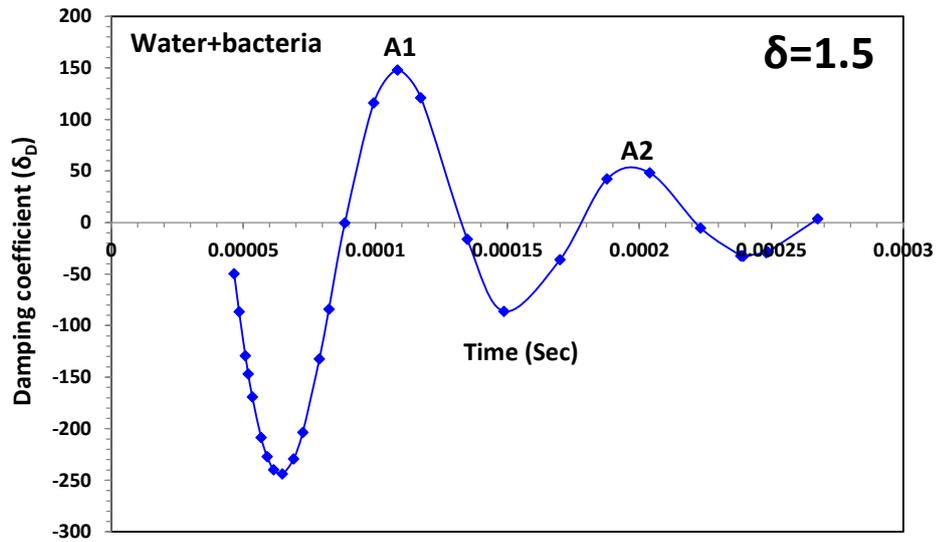


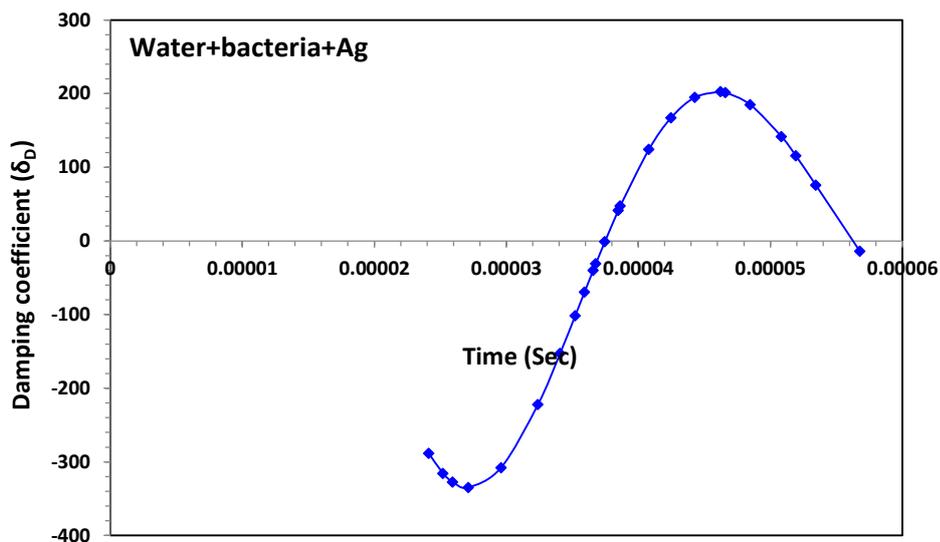
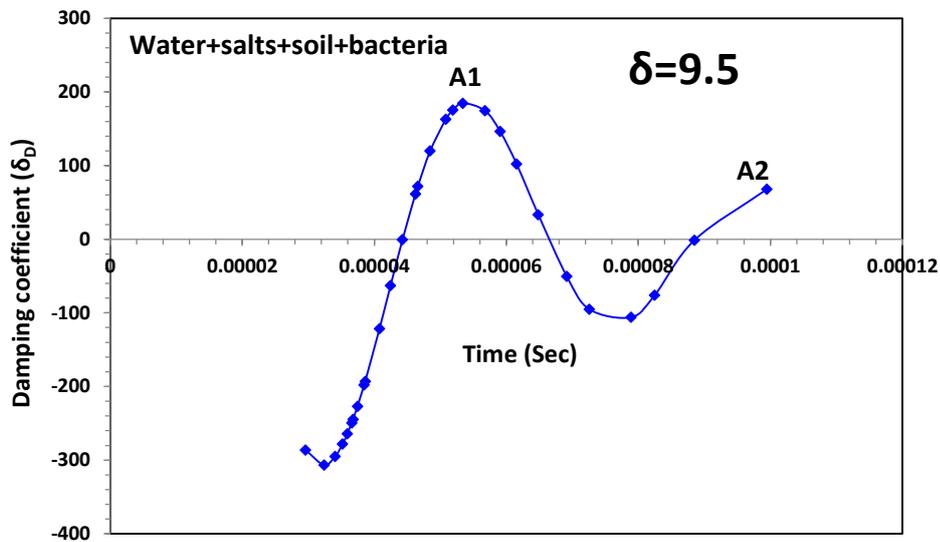
شكل رقم (4): يوضح التردد الرنيني كدالة للسعة عند حالات تلوث مختلفة للماء.

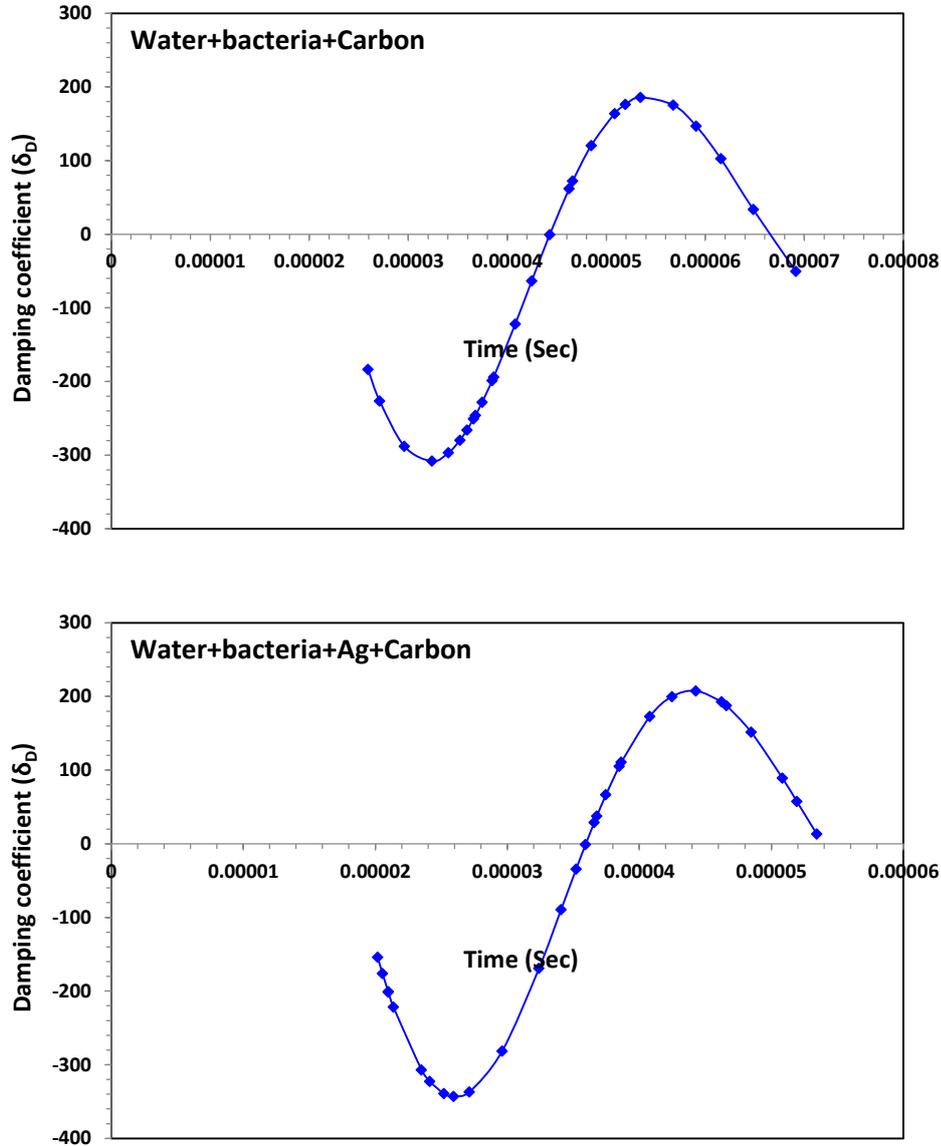
ان سلوك او ميكانيكية الكشف عن الملوثات تختلف باختلاف نوع المادة النانوية المستخدمة كطرف مرسل او مستلم للإشارة الكهربائية ويثبت هذا لتأثير في حالات التلوث المتعددة للماء من خلال حساب التردد الرنيني لكل حالة. وجد ان اعلى قيمة للتردد الرنيني (30 MHz) حصل في حالة استخدام الفضة والكربون النانوي كقطب او طرف من البلورة الاجهادية يعد مقارنتها مع قيمة التردد الرنيني لطرفي بلورة اجهادية- بلورة اجهادية. كذلك نلاحظ ان في حالة وجود البكتريا في الماء لطرفي بلورة اجهادية - بلورة اجهادية فان عامل التخميد Damping coefficient يكون بحدود (1.5) في حين يستقر معامل التخميد بشكل واضح في حالة الفضة او الكربون او فضة وكربون معاً كطرف مع بلورة اجهادية كما مبين في الشكل رقم (5).

وهذا يفسر ما يحدث في حالة وجود مادة نانوية كطرفي عملية تحجيم وحجز للبكتريا من قبل الكربون النانوي ومن ثم قتل للبكتريا من قبل الفضة النانوية وبالتالي فان السلوك المستقر لعامل التخميد يصبح نفسه في حالات وجود البكتريا في الماء مع اضافة المواد النانوية.









شكل رقم (5): يوضح الرنين كدالة لعامل التخميد عند حالات تلوث مختلفة للماء.

4. الاستنتاجات

تميز البحث بما يلي:

- 1- تصميم متحسسات ميكانيكية تعمل ضمن مدى ترددات واسعة. حيث يمكن الحصول على الإشارة الكهرواجهادية عن طريق استخدام محول يقوم بنقل الموجات الميكانيكية خلال خلية تحتوي على (الماء النقي, والماء الملوث بالأملاح والتربة والبكتيريا على التوالي) ومن ثم استخدام مستقبلات تلتقط الإشارة الناتجة.
- 2- امكانية الكشف عن مسببات التلوث للماء النقي سواء كانت املاح او تربة او بكتيريا او الحالات السابقة معاً من خلال عمل معايرة للكشف تحدد فيها كل حالة تلوث ضمن مدى معين من الترددات.
- 3- استخدام مواد (فضة نانوية او كاربون نانوي محضر مختبرياً بطرق مختلفة) مضافة للماء الملوث ، بوجود البكتيريا، تعمل هذه المواد على تحجيمها ومن ثم قتلها.

References

- [1] Akizuki, M., Hampar, M. S., & Zussman, J. (1979). An explanation of anomalous optical properties of topaz. *Mineralogical Magazine*, 43(326), 237-241.
- [2] Damjanovic, D. (1998). Ferroelectric, dielectric and piezoelectric properties of ferroelectric thin films and ceramics. *Reports on Progress in Physics*, 61(9), 1267.
- [3] Duarte, F., Casimiro, F., Correia, D., Mendes, R., & Ferreira, A. (2013, March). A new pavement energy harvest system. In *2013 International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC)* (pp. 408-413). IEEE.
- [4] Katzir, S. (2012). Who knew piezoelectricity? Rutherford and Langevin on submarine detection and the invention of sonar. *Notes and Records of the Royal Society*, 66(2), 141-157.
- [5] Kholkin, A., Amdursky, N., Bdikin, I., Gazit, E., & Rosenman, G. (2010). Strong piezoelectricity in bioinspired peptide nanotubes. *ACS nano*, 4(2), 610-614.
- [6] Manbachi, A., & Cobbold, R. S. (2011). Development and application of piezoelectric materials for ultrasound generation and detection. *Ultrasound*, 19(4), 187-196.
- [7] Migliorato, M. A., Pal, J., Garg, R., Tse, G., Al-Zahrani, H. Y. S., Monteverde, U., ... & Marko, I. P. (2014, March). A review of non linear piezoelectricity in semiconductors. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1590, No. 1, pp. 32-41). American Institute of Physics.
- [8] Pollack, S., Starkebaum, W., & Korostoff, E. (1977, January). Microelectrode Studies Of Stress Generated Potentials In Cortical Bone. In *Abstracts Of Papers Of The American Chemical Society* (Vol. 173, No. Mar 20, Pp. 5-5). 1155 16th St, Nw, Washington, Dc 20036: Amer Chemical Soc.
- [9] Radusinović, D., & Markov, C. (1971). Macedonite-lead titanate: a new mineral. *American Mineralogist: Journal of Earth and Planetary Materials*, 56(3-4_Part_1), 387-394.
- [10] Sharma, V., & Singh, M. P. (2016). Electricity generation due to vibration by boots. *AKGEC Int J Tech*, 7, 13-16.
- [11] Shoaee, S., Briscoe, J., Durrant, J. R., & Dunn, S. (2014). Acoustic enhancement of polymer/ZnO nanorod photovoltaic device performance. *Advanced materials*, 26(2), 263-268.
- [12] Sinha, D., & Amaratunga, G. A. (2015). Electromagnetic radiation under explicit symmetry breaking. *Physical review letters*, 114(14), 147701.