# Studying the Effect of Changes Occurring in a Thermo-electrochemical Cell using an Electrogel and Different Types of Cathode Metal

**Milad Moeen Jokhadar***

**(Received 12 / 2 / 2024. Accepted 2 / 6 / 2024)**

## □ ABSTRACT □

In this research, several types of thermo-electrochemical cell were studied,which utilize copper as the anode and various metals as the cathode (zinc, aluminum, chromium)in the form of thin sheets with dimensions of (50*30*1) mm, and using a gel electrolyte (electrogel) of sodium alginate with different concentrations (4%, 4.8%, 5.4%, 6.4%, 7.2%, 8%).A study was conducted of the effect of thevalue of the temperature difference between the electrodesandthe difference of the electrolyte concentration on the value of the open circuit voltage of the cell $V_{OC}$and on the value of the Seebeck coefficient of the cell $S_e$.The results showed that the open circuit voltage $V_{OC}$increases with increasing the temperature difference between the two electrodes $\Delta T$ for all studied cells. So that the highest cell voltage (690 mV) was obtained when using copper-zinc electrodes and a concentration of 8% for the gel electrolyte, with a temperature difference betweenthe two electrodes ($\Delta T= 35^{\circ}$). The best value of Seebeck's coefficient ($S_e$=6.02 mv/k ) was also obtained with the same copper-zinc electrodes and a concentration (6.4%) of the gel electrolyte at a temperature difference between the electrodes of ($\Delta T= 35^{\circ}$).

**keywords:** Thermoelectrochemical cells, heat recovery, heat treatment , sodium alginate.

**Copyright** **:**Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

* **Technical staff member –Department of Basic Sciences - College of Medical Engineering – Al Andalus University- Tartous - Syria. milad.m.jokhadar@tishreen.edu.sy**

# دراسة تأثير التغيرات الحاصلة في خلية حرارية كهروكيميائية تستخدم الكتروليت هلامي وأنواع مختلفة لمعدن المهبط

**ميلاد معين جوخدار** *

**(تاريخ الإيداع 12 / 2 / 2024. قُبِل للنشر في 2/ 6 / 2024)**

## □ ملخّص □

تم في هذا البحث دراسة عدة أنواع من الخلاياالحرارية الكهروكيميائية التي تستخدم معدن النحاس كمصعد وأنواع مختلفة من المعادن كمهبط (زنك – ألمنيوم – كروم )في شكل صفائح رقيقة ذات أبعادmm(1x30x50)، واستخدم إلكتروليت هلامي (Electrogel) من ألجينات الصوديوم بتراكيز مختلفة ( 4% ، 4.8% ، % 5.6 ،6.4% ، 7.2%، 8% )، تم دراسة تأثيرفرق درجات الحرارة بين القطبين واختلاف تركيز الإلكتروليت الهلاميعلى قيمة جهد الدارة المفتوحة للخلية ($V_{OC}$)، وعلى قيمة معامل سيبيك للخلية $S_e$.

أظهرت النتائج أن جهد الدارة المفتوحة($V_{OC}$) يزداد بزيادة فرق درجات الحرارة بين القطبين (ΔT) لجميع الخلايا المدروسة حيث تم الحصول على أعلى جهد ( 690 mV) عند استخدام أقطاب (نحاس – زنك )وتركيز ( 8 %)للإلكتروليت الهلامي، وفرق درجات حرارة بين القطبين ($\Delta T= 35^{\circ}$)، كما تم الحصول على أفضل قيمة لمعامل سيبيك ($S_e$=6.02 mv/k) عند نفس الأقطاب (نحاس – زنك) وتركيز (6.4%)للإلكتروليت الهلامي عند فرق درجات حرارة بين القطبين مقداره ($\Delta T= 35^{\circ}$).

**الكلمات المفتاحية** : الخلايا الحرارية الكهروكيميائية ، استرجاع الحرارة، ألجينات الصوديوم.

**حقوق النشر** : مجلة جامعة تشرين– سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص CC BY–NC–SA 04

* **عضو هيئة فنية – قسم العلوم الأساسية – كلية الهندسة الطبية – جامعة الأندلس – طرطوس– سورية.**

## مقدمة:

في ظل التزايد السكاني الذي يشهده العالم، وتزايد احتياجات المجتمعات البشرية للطاقة بالتوازي مع التناقصالتدريجي لمصادر الطاقة الأحفورية( نفط، غاز)وغيرها والتي ستؤول عاجلا" أم آجلاً للنضوب، تبرز أهمية البحث عن مصادر الطاقة المتجددة التي تتصف بالديمومةوالإستمراريةلتلبية متطلبات المجتمعات البشرية من الطاقة. توجهت معظم الأبحاث في مجال الطاقة المتجددة إلى الطاقة الشمسية وطاقة الرياح والهيدروجين بديلاً متجدداً ونظيفاً للطاقة، لكن معظم المحاولات للاستفادة من الطاقة الشمسية مصدراً للحرارة واستثمارها في مجال إنتاج الطاقة الكهربائية مانزال محدودة، وذلك لأن التحويل الكهروحراري مازال يخضع لأنظمة تقليدية تتطلب تحويل الطاقة الحرارية المقدمة إلى طاقة ميكانيكية، ثم تحويل هذه الطاقة الميكانيكية إلى قدرة كهربائية كما في دارة رانكين ودارة كالينا، مما يفترض وجود مصدر حراري عالي لتشغيل هذه المنظومات، بالإضافة للضياعات المختلفة التي تعاني منها هذه المنظومات. وقد برزت أهمية استكشاف أساليب جديدة للتحويل الكهروحراري دون وجود الوسيط الميكانيكي وهو مايسمى أنظمة التحويل المباشر[1].

وتعتبر المولدات الكهروحرارية(TEG)(Thermoelectric Generator) أجهزة تقنية تقوم بالتحويل المباشر للطاقة الحرارية إلى كهربائية باستخدام عناصر حرارية نصف ناقلة(Semiconductor Thermoelements) أي مواد كهروحرارية(Thermoelectric Materials)، ويعتمد مبدأ عمل (TEG) على تأثير سيبك(Seebeck effect)، وهي ظاهرة نشوء قوة دافعة كهربائية في دارة كهربائية مكوّنة من سلسلة نواقل كهربائية غير متجانسة موصولة على التسلسل. كما أنّ تطبيق (TEG) واعد للغاية في مجال المصادر الكهربائية الذاتية[2].

تستخدم(TEGs) كمصادر للطاقة على متن المركبات الفضائية التي تقوم باستكشاف مناطق بعيدة من نظام المجموعة الشمسية، حيث تمّ تثبيت مولدات الطاقة التي تستخدم حرارة عناصر وقود البلوتونيوم على مركبتي (Cassini) و(New Horizons) الفضائيتين، فمن الضروري أن يكون مصدر الطاقة صغير الحجم، وأن يعمل باستمرار ويتمتع بقدرة على تحويل مصادر الحرارة المتاحة إلى كهرباء[3].

كما تستخدم المولدات الكهروحرارية لتحويل الطاقة تقنيات الحالة الصلبة المطبّقة في المضخات الحرارية، ومولدات الطاقة الكهربائية، فالمولدات الكهروحرارية هي محركات حرارية في الحالة الصلبة مصنّعة من زوج من أنصاف النواقل من النوع(p) والنوع(n)، والتي يمكن وصفها بالمانح الغني بالإلكترونات، والمتقبل الفقير بالإلكترونات على التوالي[4].

لهذه الأجهزة العديد من المزايا مثل العمر الخدمي الطويل، وغياب الأجهزة المتحركة، تشغيل خالي من الضجيج، كما أنها سهلة الامتصاص، والمرونة في الاستخدام. غير أن مولدات الطاقة الكهروحرارية ذات مردود أخفض من المحركات الحرارية التقليدية، كما أن مواد (TES) غالية الثمن[5].

وقد عمل العديد من الباحثين على تطوير أداء الأجهزة الكهروحرارية: فقد درس الباحث ( Byung Jo Lee) وزملاؤه [6] خلية حرارية كهروكيميائية تعتمد على أقطاب من كربيد التيتانيوم (TiC) في إلكتروليت من الهيكساسيانوفريت$(Fe(CN)_6^{-4}/Fe(CN)_6^{-3},HCF)$ وأعطت الخلية كثافة طاقة منتجة مقدارها ( P= 39.72 $\mu W/cm^2$). كما درس الباحث (Sang Mung Jung) وزملاؤه [7]خلية حرارية كهروكيميائية تستخدم أقطاباً من التنغستينوإلكتروليت من الهيكساسيانوفريت$(Fe(CN)_6^{-4}/Fe(CN)_6^{-3},HCF)$وقد وصل معامل سيبيك للخلية ($S_e$= 1.66 mV/K) بينما أعطت كثافة الطاقة المنتجة( P= 42.5 $\mu W/cm^2$). كما درس الباحث (YuetongZho) وزملاؤه [8] تأثير إضافة حمض الهيدروكلوريد في إلكتروليت من كلوريد الحديد 2/ الحديد3 المنحل في البولي فينيل

الكحولي (PVA) لخلية حرارية كهروكيميائية وأظهرت النتائج انخفاضاً في مقاومة نقل الشحنة وسجل معامل سيبيك ( $S_e$= 0.8 mV/K ) وكثافة طاقة منتجة( P=6.37 μW/$cm^2$ ). بينما درس الباحث (Burmistov) وزملاؤه [9] خلية حرارية كهروكيميائية تستخدم أقطاباً من النيكل المفرغوإلكتروليت من هيدروكسيد البوتاسيوم بتراكيز مختلفة وتم الحصول على أفضل قيمة معامل سيبيك ($S_e$= 8 mV/K ) وكثافة طاقة منتجة( P= 37.4 μW/$cm^2$). كما درس الباحث (V Shpekina) وزملاؤه [10]خلية حرارية كهروكيميائية تستخدم أقطاباً بوليميرية مغلفة بأنابيب الكربون النانوية وإلكتروليت من فيروسيانيد/ فيريسيانيد البوتاسيوم، وأظهرت النتائج معامل سيبيك($S_e$=0.7mV/K ) وكثافة طاقة منتجة(P=14μW/$cm^2$).

## أهمية البحث وأهدافه:

تبرز أهمية هذا البحث كجزء من الجهود المبذولة في استكشاف أفضل نموذج لمولد كهروحراري يقوم بتحويل الحرارة إلى كهرباء مباشرة من دون الحاجة إلىوسيطميكانيكي في عملية التحويل، مع إمكانية عمله في مجال درجات حرارة منخفضة، مما يسمح باستثمار الطاقة الحرارية للإشعاع الشمسي، أو الضياعات الحرارية الناتجة عن خطوط الإنتاج المختلفة ضمن هذا النطاق في تغذية وتشغيل النموذج، ويمنحه صفة الاستدامة، ويخفف من الآثار السلبية للانبعاثات الناتجة عن احتراق الوقود التقليدي، إذاًيهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير تركيز الإلكتروليت على جهد الدارة المفتوحة، وكذلك دراسة عدة أنواع من الخلاياالحرارية الكهروكيميائية التي تستخدم معدن النحاس كمصعد وأنواع مختلفة من المعادن كمهبط (زنك – ألمنيوم – كروم )، بهدف تحسين معامل سيبيك للخلية.

## طرائق البحث ومواده:

### 1-الأدوات والأجهزة

### 1-1- جهاز تسجيل البيانات:

تم تصميم جهاز خاص لتسجيلالبيانات المرسلة من الخلية، كما هوموضح في الشكل (1) مزود بمايأتي:

- حساسي حرارة مغلفين بالإيبوكسي مما يمكنهما من قياس درجة حرارة كل من قطبي النحاس والزنك من ناحية الإلكتروليت الهلامي وإرسال القراءات المسجلة إلى الجهاز.
- مجسين معدنيين لقراءة جهد كل من القطبين، وإرسال البيانات المسجلة إلى الجهاز.
- دارة متكاملة مبرمجة (Arduino)، تستقبل معطيات الدخل من حساسات الجهاز المتصلة مع الخلية وتقوم برمجياً بحساب مايأتي:
  - فرق درجات الحرارة بين القطبين ($\Delta T$).
  - جهد الدارة المفتوحة ( $V_{OC}$ ).

**الشكل(1)جهاز تسجيل البيانات**

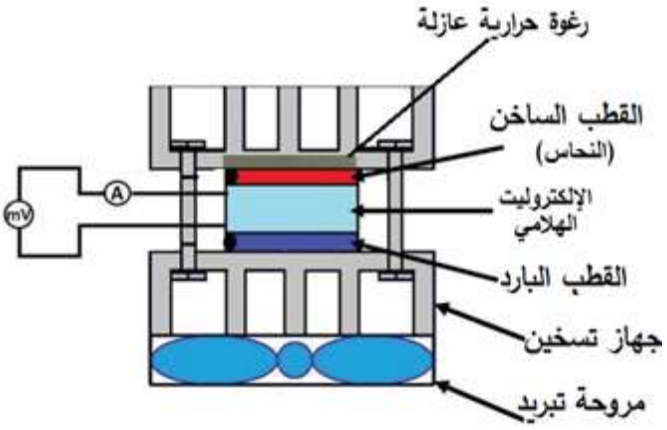
### 1-2- جهاز التسخين:

تم تصميم جهاز تسخين كما هو موضح في الشكل (2)، مؤلف من حاملة معدنية ثبّت عليها مسخن كهربائي ومبادل حراري من أنابيب نحاسية تحتوي بداخلها على الزيت وسيطاً ناقلاً للحرارة، يقوم المسخن الكهربائي بتسخين الزيت في المبادل الحراري والذي يقوم أيضاً بنقل الحرارة إلى صفيحة النحاس للخلية، والتي يفصل بينها وبين المبادل رغوة حرارية عازلة كهربائياً من شأنها نقل الحرارة من المبادل إلى قطب النحاس بكفاءة عالية مع المحافظة على العازلية الكهربائية لمنع التأثيرات الكهربائية المحتملة بين معدن المبادل وقطب الخلية، كما تم تزويد القطب البارد (صفيحة الزنك) بمروحة تبريد للمحافظة على فرق درجات الحرارة بين الصفيحتين.

**الشكل (2) جهاز التسخين المستخدم**

### 1-3- نموذج الخلية الحرارية الكهروكيميائية:

تم تصميم عدة نماذج لخلايا حرارية كهروكيميائية مكونة من صفيحتين، الأولى من النحاس والثانية من (الزنك– الألمنيوم – الكروم ) وبأبعاد(mm)1×30×50مثبتتين على حاملة من البلاستيك الحراري الذي يؤمن العازلية الكهربائية للخلية،ويتحمل درجات حرارة مرتفعة، تحصر الصفيحتان بينهما الناقل الأيوني (الإلكتروليت) بسماكة (15mm)، وهو عبارة عن إلكتروليت هلامي (ElectroGel )، ويتم تركيب الخلية على جهاز التسخين بهدف تسخين قطب النحاس والحصول على التدرج الحراري المطلوب كماهو موضح في الشكل (3):




**الشكل (3) مكوّنات الخلية الحرارية الكهروكيميائية**

**2- تحضير أقطاب الخلية الكهروحراريةوالإلكتروليت:**

تم في البداية تجهيز أقطاب من النحاس كمصعد و( الزنك– الألمنيوم – الكروم) كمهبط في شكل صفائح، أبعادها(mm)1x30x50 .

تم تحضير المحلول الهلامي (Electrogel) ، إذ تم وزن مقادير محددة من مسحوق ألجينات الصوديوم ($NaC_6H_7O_6$) باستخدام ميزان دقيق ، مزجت في (40 mL) من الماء المقطر لتشكيل التراكيز( 4%، 4.8% ، 5.6%، 6.4% ، 7.2% ، 8%)على التوالي، حيث تم المزج عند درجة الحرارة (25 ℃) وسرعة المازج الميكانيكي (200 rpm) ولمدة (15) دقيقة، يوضح الشكل(4) عينات الجلّ المحضَرة:

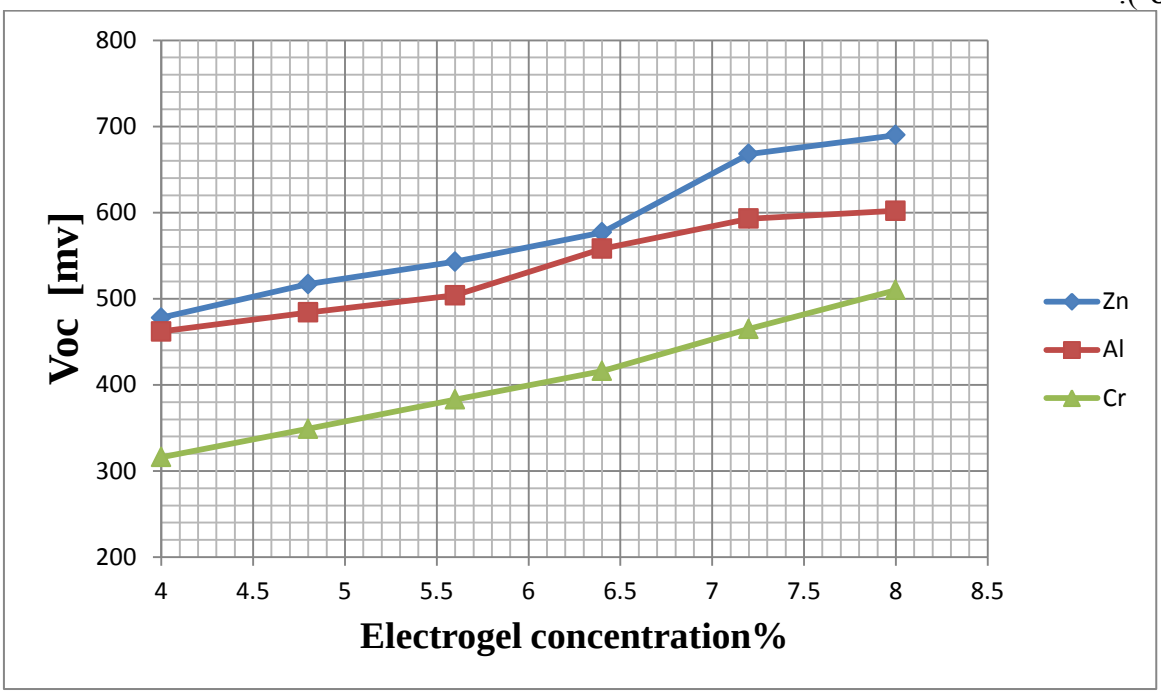
**الشكل (4) عينات الإلكتروجل المحضَرة**

## النتائج والمناقشة:

**1- تأثير تركيز الإلكتروليتفي جهد الدارة المفتوحة:**

يعبر جهد الدراة المفتوحة ($V_{OC}$) عن فرق الجهد الكهروستاتيكي بين قطبي الخلية، والذي يتكون نتيجة النشاط الغلفاني الحاصل عند أقطاب الخلية على نحو رئيسي، ويعتبر مؤشراً يدل على محتوى الخلية من الطاقة عندما لايتم سحب تيار منها، وإن زيادة جهد الدارة المفتوحة يعطي ثباتاً أكبر لعمل الخلية عند هبوط الجهد على حمل خارجي، أي تدفقاً أفضل لحاملات الشحنة (الإلكترونات) [2]،ويوضح الشكل(5) العلاقة بين تركيز الإلكتروليت( Electrogel

concentration )، وجهد الدارة المفتوحة($V_{OC}$) لنماذج الخلايا المدروسة،وذلك ضمن مجال حراري ( 0 – 35 :(°C




**الشكل (5) تأثير تركيز الإلكتروليت على جهد الدارة المفتوحة لنماذج الخلايا المدروسة**

يلاحظ من دراسة المخطط أن زيادة تركيز الإلكتروليتأدى إلى زيادة جهد الدارة المفتوحة بشكل ملحوظ لجميع النماذج المدروسة، حيث ازدادت قيمة جهد الدارة المفتوحة لخلية (النحاس – الزنك) من( 478 mv) عند التركيز (4%) إلى( 690mv) عند التركيز (8%)، ولخلية (النحاس – الألمنيوم) من( 462 mv) عند التركيز (4%) إلى( 602 mv) عند التركيز(8%)،ولخلية (النحاس – الكروم) من( 316mv) عند التركيز (4%) إلى( 510mv) عند التركيز(8%)، ويرجع ذلك إلى أن زيادة تركيز الإلكتروليت أدت إلى زيادة الموصلية الكهربائية، فالناقلة الأيونية (ionic conductivity) تابعة لعوامل ذات تأثيرات متضاربة، فمن جهة تزداد مع ازدياد تركيز حاملات الشحنة، ومع زيادة حرية حركة السلاسل البوليميرية، والتي تتأثر مباشرة بتركيز ألجينات الصوديوم في الماء، ودرجة الحرارة، فزيادة تركيز الإلكتروليت يؤدي لزيادة حاملات الشحنة، غير أن زيادة تركيزه فوق حد معين يؤدي إلى تقييد حرية حركة السلاسل البوليميرية لألجينات الصوديوم، ويصبح اهتزازها الموضعي ضعيفاً للغاية مما يؤدي لتخفيض الناقلية الكهربائية، وتصبح الناقلية ثابتة بعدهاضمن مجال من تركيز الإلكتروليت، وسبب استقرار الناقلية وجود عاملين متناقضين زيادة حاملات الشحنة وتقييد حرية حركة السلاسل البوليميرية، ومع زيادة التركيز تصبح حركة السلاسل البوليميرية مقيدة أكثر[13]، وهذا يتوافق مع دراسة قام بها الباحث (Burmistrov)[9]،وهي أفضل من القيمة التي توصل لها الباحث (Muhammad Tariq SaeedChani)[14]، وهي (20 mv)في الخلية التي استخدم فيها أقطاباً من النحاس ضمن غلاف بوليميري مرن وإلكتروليت من صبغة برتقالية (وهي مادة عضوية شبه موصلة).

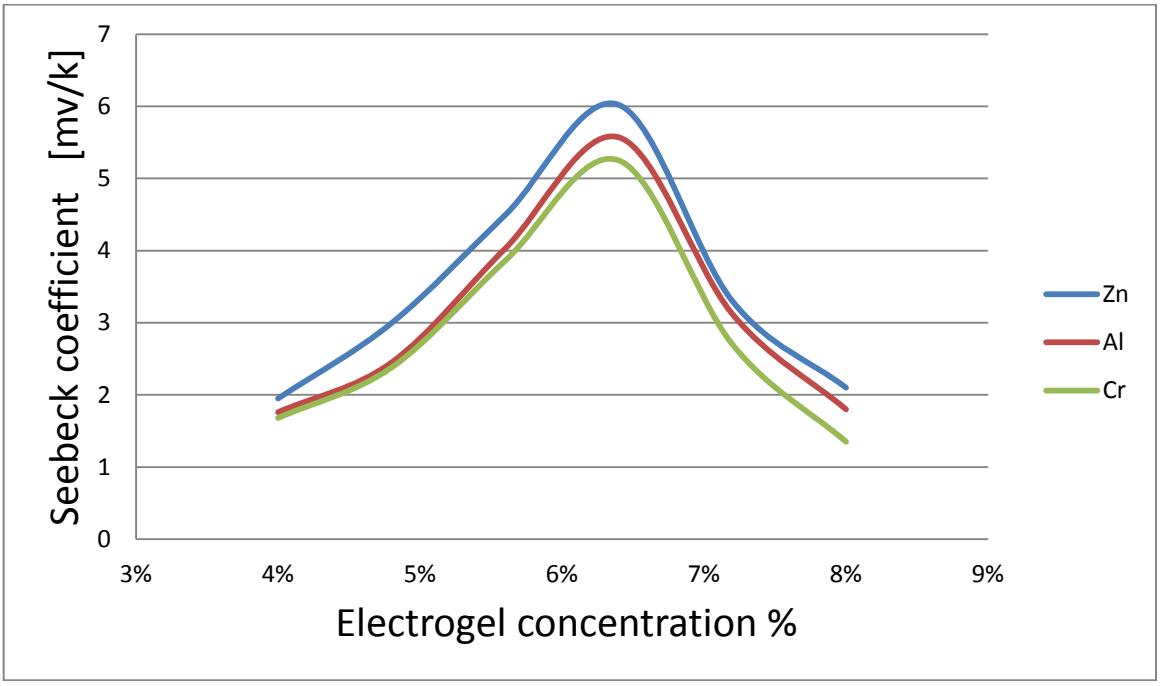
**2- تأثير زيادة تركيز الإلكتروليتفي معامل سيبيك:**

من المعروف أنّ عمل الأجهزة الكهروحرارية التي تقوم بتحويل الطاقة الحرارية إلى كهربائية يعتمد على أثر سيبيك، عندما يتحرض فرق كمون بين قطبين ساخن وبارد، إذ تتركز حاملات الشحنة على الجانب الساخن الذي يمتلك طاقة حرارية أعلى من الجانب البارد، ويتم وصف أداء تلك الأجهزة من خلال شكل ميريت[2](figure of merit):

$$ZT=\frac{\alpha^2 \sigma T}{K}$$

α معامل سبيك، و σ الناقلية الكهربائية، و kالناقلية الحرارية، و Tدرجة الحرارة المطلقة.و(ZT) الشكل اللابعديالكهروحراري للكفاءة.

وتظهر هذه المعادلة أنّ الأجهزة الكهروحرارية الجيدة تتميز بمعامل سيبيك مرتفع، وأنّ الناقليةالحراريةالمنخفضة والناقلية الكهربائية العالية للمواد الكهروحراريةهو أمر أساسي وحاسم في زيادة فعالية وكفاءة عمل هذه الأجهزة، ويوضح الشكل (6) العلاقة بين تركيز الإلكتروليت وقيمة معامل سيبيك ضمنتدرّج حراري ($\Delta T= 35^{\circ}$) لنماذج الخلايا المدروسة :




**الشكل (6) تأثير تركيز الإلكتروليتفي معامل سيبيك ($\Delta T= 35\ ^{\circ}C$)لنماذج الخلايا المدروسة**

يظهر المخططازدياد قيمة معامل سيبيك مع زيادة تركيز الإلكتروليت لجميع الخلايا حتى الوصول للتركيز ( 6.4%) مسجلاً قيمة معامل سيبيك($S_e$ =6.02 mv/k) لخلية (النحاس – الزنك)،و($S_e$ =5.57 mv/k) لخلية (النحاس – الألمنيوم)، و($S_e$ =5.25 mv/k) لخلية (النحاس – الكروم)، بعد ذلك تبدأ قيمة معامل سيبيك بالانخفاض مع زيادة تركيز الإلكتروليت، ويفسر ذلك بأن زيادة تركيز الإلكتروليت زيادةكبيرة تؤدي إلى زيادة كثافة الجلّ وتكتّله (تراصّه)، مما يؤدي إلى انخفاض الناقلية الكهربائية، نظرا لا نخفاض قابلية السلاسل البوليميرية الجزيئية للحركة في ألجينات الصوديوموزيادة قيمة معامل التوصيل الحراري للإلكتروليت، وهو ما ينعكس سلباً على كفاءة تحويل الطاقة[8].

## الاستنتاجات والتوصيات:

**الاستنتاجات:**

1- يزداد جهد الدارة المفتوحة $V_{OC}$ بزيادة فرق درجات الحرارة بين القطبين $\Delta T$ .

2- سجلت أفضل قيمة لجهد الدارة المفتوحة $V_{OC}$(690 mv= $V_{OC}$ ) لخلية (النحاس – الزنك)عند فرق درجات حرارة بين القطبين مقداره ($\Delta T= 35^{\circ}$).

3- سجلت أفضل قيمة لمعامل سيبيك (6.02 mv/k= $S_e$ ) لخلية (النحاس – الزنك) عند تركيز (6.4 %)

**التوصيات**

1- يوصى باستمرار البحث في المولدات الكهروحرارية كمصدر واعد محتمل للطاقة الكهربائية.

2- دراسة استخدام إضافات إلى الإلكتروليت كالدقائق النانوية السيراميكية ودراسةتأثيرها على معامل التوصيل الحراري والمقاومة الداخلية للخلية.

3- زيادة مساحة الأقطاب من خلال عمليات التنميش أو الليزر بحيث يتم خلق بنية مسامية تزيدمردود الطاقة المنتجة من الخلية.

4- دراسة تصميم خلايا حرارية كهروكيميائية مرنة باستخدام أغلفة بوليميرية.

## References:

[1]-Ali Hussain Kazim,2017," Novel electrolytes and system designe for Termo-electrochemical cells", Georgia Institute of Technology,USA.

[2]Alexandr .,S., Denis., A., Maria, V., Nikolay, S., Thermo-electrochemical cells based on polymer and mineral hydrogels for low-grade waste heat conversion., Prospects of Fundamental Sciences Development (PFSD-2017).

[3] F. Zhang, J. Liu, W. Yang and B. E. Logan., A thermally regenerative ammonia-based battery for efficient harvesting of low-grade thermal energy as electrical power., Energy & Environmental Science 8, 343–349 (2015).

[4] J. P. Heremans, V. Jovovic, E. S. Toberer, A. Saramat, K. Kurosaki, A. Charoenphakdee, S. Yamanaka and G. J. Snyder, Science 321, 554–557 (2008).

**[5]**A. I. Boukai, Y. Bunimovich, J. Tahir-Kheli, J.-K. Yu, W. A. Goddard 3rd, and J. R. Heath, "Silicon nanowires as efficient thermoelectric materials," Nature 451(7175), 168–171 (2008).

[6]-Byung-Jo Lee, Sang-Mun Jung, Jaesub Kwon, Jinhyeon Lee, Kyu-su Kim, and Yong-TaeKim,2022,"Harvesting Low-Grade Waste Heat to Electrical Power Using Thermo-electrochemicalCell Based on a Titanium Carbide Electrode", American Chemical Society.

[7]-Sang-Mun Jung, Jaesub Kwon, Jinhyeon Lee, Byung-Jo Lee, Kyu-SuKim, Dong-Seok Yu Yong TaeKima,2021, "Hybrid thermo-electrochemical energy harvesters for conversion of low grade thermal energy into electricity via tungsten electrodes" .Science Direct, Volume 311.

[8]- Yuetong Zhou, Yuqing Liu, Mark A. Buckingham, Shuai Zhang , Leigh Aldous, StephenBeirne, Gordon Wallace, Jun Chen, 2021, "The significance of supporting electrolyte on poly(vinyl alcohol)–iron(II)/ iron(III) solid-state electrolytes for wearable thermo-electrochemical electrochemical cells", Department of Chemistry, Britannia House, King's College London.

[9]- Burmistrov ,I.,Gorshkov, N., Kiselev, N., Artyukhov , D., Data on the current-voltage dependents of nickel hol-low microspheres based thermo-electrochemical in alkaline electrolyte, Data in Brief (2020).
[10]- V Shpekina, I Burmistrov, N Gorshkov, D Artyukhov, N Kiselev, N Kovyneva and YSmirnova, 2019 ," Development of thermo-electrochemical cells based on flexiblenanocomposite electrodes with oxidized multi-walled carbon nanotubes coating", TyumenIndustrialUniversity,Russian Federation.
[11] N.A. Raship., M.Z. Sahdan., F. Adriyanto., M.F. Nurfazliana., A.S. Bakri.,Effect of Annealing Temperature on the Properties of Copper Oxide Films Prepared by Dip Coating Technique, International Conference on Engineering, Science and Nanotechnology 2016 (ICESNANO 2016).
[12]Nabi, M., Adnan Ali., M. Arshad, I. , Akber, S. , A. Manzoor, M. Sharif., Thermoelectric Properties of Oxide Semiconductors., DOI: http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.88709.
[13] Peng Peng., Jiaqian Zhou., Lirong Liang., Xuan Huang., Regulating ThermogalvanicEfect and Mechanical Robustness via Redox Ions for Flexible Quasi-Solid-State Thermocells.,nano-Micro Lett. (2022) 14:81.
[14] Muhammad Tariq SaeedChani, Khasan S. Karimov, SherBahadar Khan, Abdullah MAsiri,2015, " Fabrication and Investigation of Flexible Photo-Thermo Electrochemical Cellsbased on Cu/orange dye aqueous solution/Cu", Center of Excellence for Advanced MaterialsResearch (CEAMR) , King Abdulaziz University.
[15] Motoaki, Morita et al,Effect of oxidation temperature on photo-catalytic properties of stainless steel coated by copper oxide.ISIJ international ,vol57(2017)no9PP1609-1616.
[16] Zappa,D., Dalola S., Faglia,G., Comini, E., Integration of ZnO and CuO nanowires into a thermoelectric module Beilstein J. Nanotechnol. 2014, 5, 927–936.
[17]Sijing, Z ., Zheng, F. , Baoquan, F. , Runze,S., Thermoelectric Generators: From Devices to Applications Energies 2022, 15, 3375.